



دستور کار در آزمایشگاه فیزیک جدید

دانشگاه قم



تهیه و تنظیم: دکتر تارا مرادی

این دستور کار با توجه به امکانات آزمایشگاهی موجود جمع آوری و نوشته شده است و مطمئناً عاری از اشتباه نخواهد بود. لذا از کلیه اساتید و دانشجویان محترم بعلت وجود بعضی از نقایص عذرفوای نموده و منتظر نظرات سازنده شما هستیم.

مهر ماه سال 1397 فورشیدی

در تهیه گزارش کار نکات زیر را مورد توجه قرار دهید:

موضوع آزمایش - نام و نام خانوادگی - تاریخ انجام آزمایش - تاریخ نوشتن گزارش کار

هدف از انجام آزمایش

وسایل مورد نیاز و دقت آنها

تئوری آزمایش با ذکر روابط و رسم نمودارها

روش انجام آزمایش

انجام محاسبات و محاسبه خطا

پاسخ دادن به سئوالات آخر هر دستور کار

استنباط شخصی از آزمایش (این قسمت مهمترین کار دانشجو در آزمایشگاه می باشد)



فهرست آزمایشها

3	 اثر فتوالکتریک
8	 اندازه گیری بار مخصوص الکترون
12	 آزمایش سری (دنباله) بالمر
18	 آزمایش قطره روغن میلیکان
24	 آزمایش فرانک- هرتز
32	 آزمایش پراش الکترون
39	 آزمایش تابش جسم سیاه
45	 میرایی اشعه X
50	 اثر غیر عادی هال در تنگستن
55	 آزمایش ترموالکتریک
64	 تخلیه الکتریکی روشن یا Glow Discharge



اثر فتوالکتریک

اهداف آزمایش:

- ✓ انجام آزمایش فتوالکتریسیت
- ✓ مشاهده کوانتومی بودن انرژی فوتون
- ✓ تعیین ثابت پلانک h

ملاحظات نظری:

الکترون‌ها می‌توانند از سطح یک فلز به وسیله تابشی با طول موج به اندازه کافی کوچک جدا شوند؛ به این فرآیند که در آن الکترون‌ها در اثر برهم‌کنش تابش با ماده گسیل می‌شوند، اثر فتوالکتریک و الکترون‌های گسیل شده را فتوالکترن می‌نامند. انرژی این الکترون‌ها به فرکانس نور تابانده شده به آن‌ها بستگی دارد و مستقل از شدت نور است. افزایش شدت نور منجر به افزایش تعداد الکترون‌های جدا شده از سطح که فتوالکترن نامیده می‌شوند، می‌شود.

این واقعیت با قوانین فیزیک کلاسیک متناقض است و اولین بار در سال 1905 توسط انشتین تعبیر شد، او ثابت کرد که نور متشکل از ذراتی است به نام فوتون که انرژی هر یک از آنها $h\nu$ است. در اینجا، h یک ثابت جهانی است و به عنوان ثابت پلانک ثبت شده است و مقدار آن $h = 4.135667662 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} = 6.626070040 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ است و ν فرکانس نور است.

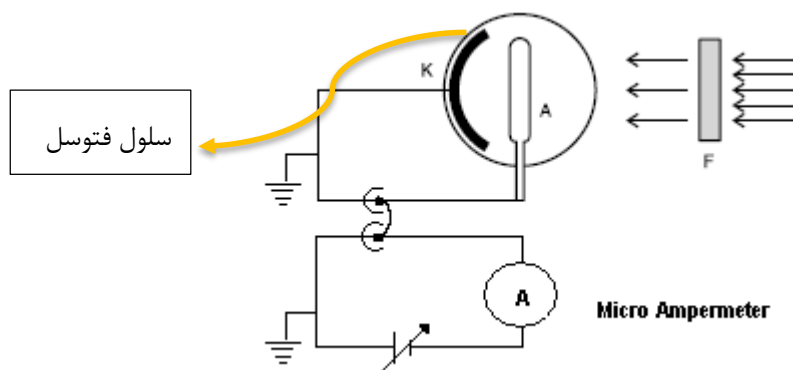
اگر فرض کنیم انرژی لازم برای آزاد کردن الکترون از فلز Φ باشد، در این صورت هر یک از فتوالکترن‌ها، اتم را با انرژی جنبشی زیر ترک می‌کنند:

$$E_{kin} = h\nu - \Phi \quad (1)$$

همه الکترون‌ها برای خروج از فلز انرژی Φ یکسانی نیاز ندارند. کمترین انرژی مورد نیاز برای آزاد شدن الکترون از سطح یعنی Φ_0 را تابع کار فلز می‌نامیم. اگر انرژی یک فوتون، یعنی $h\nu$ ، بتواند باعث گسیل یک الکترون از سطح فلز شود یعنی بر تابع کار آن فلز غلبه کرده است و انرژی جنبشی الکترون گسیل شده از رابطه زیر بدست می‌آید

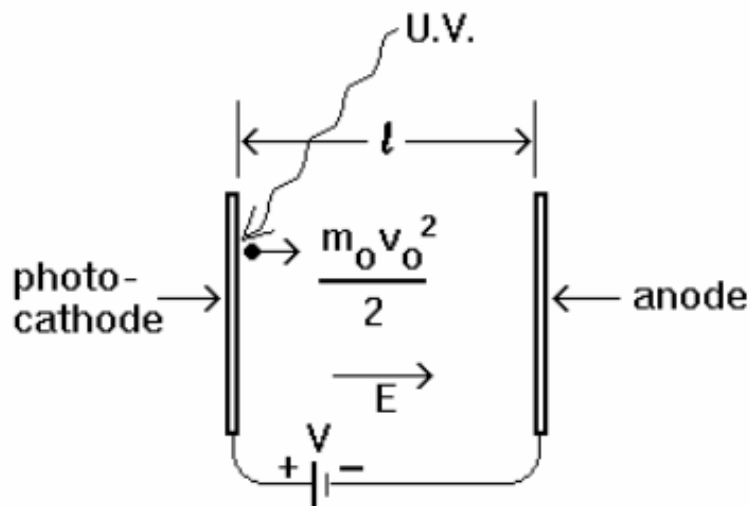
$$(E_{kin})_{max} = h\nu - \Phi_0 \quad (2)$$

در این آزمایش قصد ما این است که ثابت پلانک را به وسیله تاباندن یک نور تک فرکانس به یک فتوسل به دست آوریم .



در یک محفظه شیشه‌ای خلا، یک سطح که از فلز قلیایی مثلاً پتاسیم پوشیده شده است به عنوان کاتد و یک میله فلزی که در محل محور آن قرار گرفته به عنوان آند عمل می‌نماید، به این مجموعه سلول فتوسل می‌گوییم. نور پس از عبور از آند میله‌ای شکل به کاتد، که از جنس فلز قلیایی است، برخورد کرده و چنانچه گفته شد در صورتی که بتواند الکترون‌ها را از سطح فلز خارج کند، یعنی انرژی کافی برای این کار داشته باشد، باعث گسیل فتوالکترون می‌شود. فتوالکترون‌ها به آند رسیده و به صورت جریان فتوالکتریک اندازه‌گیری می‌شوند.

با اعمال اختلاف پتانسیل معکوس بین آند و کاتد، می‌توان حرکت فتوالکترون‌ها از کاتد به آند را کند کرده و جریان فتوالکتریک را کاهش داد تا بدان‌جا که در یک ولتاژ مشخص V_0 ، جریان فتوالکترونی برابر صفر شود. یعنی هیچ فتوالکترونی، حتی پرا انرژی‌ترین فتوالکترون نیز، به آند نخواهد رسید. بنابراین خواهیم داشت:



$$(E_{kin})_{max} = eV_0 \quad (3)$$

از روابط 2 و 3 نتیجه می‌شود :

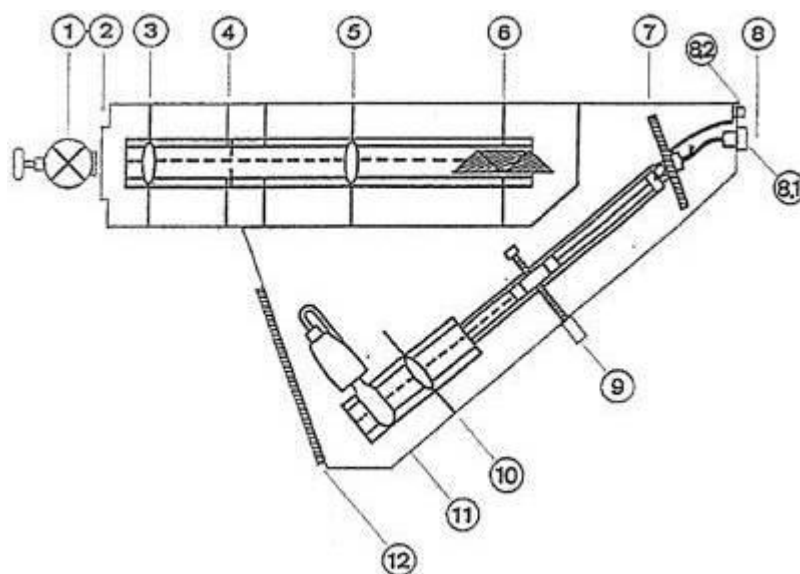
$$eV_0 = h\nu - \Phi_0 \quad (4)$$

یک انرژی پتانسیل تماس اضافی A که بخاطر یکسان نبودن سطح و شکل آند و کاتد ظاهر می شود، رابطه را بصورت زیر در می آورد:

$$V_o = -\frac{A + \Phi_o}{e} + \frac{h\nu}{e} \quad (7)$$

با تغییر فرکانس ν می توان یک سری مقادیر برای پتانسیل توقف به دست آورد. هر گاه نمودار تغییرات V_o بر حسب ν ترسیم کنیم و ضریب زاویه این نمودار خطی را بدست آوریم مقدار h بدست می آید.

روش آزمایش:



1. لامپ جیوه پر فشار
2. دریچه
3. عدسی همگرا
4. شکاف
5. عدسی همگرا
6. منشور
7. آینه
8. اتصال به آمپلی فایر
- 8.2 ارت
9. پیچ تنظیم کننده ریز پایه متصل به فتوسل
10. عدسی همگرا و شکاف
11. سلول فتوسل
12. دریچه

لامپ جیوه پر فشار را به ولتاژ بالای منبع تغذیه آن متصل و روشن کنید تا گرم شود. گرم شدن لامپ حدود 3 دقیقه طول می کشد.

توجه مهم:

اشعه فرا بنفش لامپ جیوه برای چشمان شما بسیار مضر است

لذا مراقبت کنید که نور مستقیم لامپ به چشمان شما نتابد و از

نگاه کردن مستقیم به لامپ داخل محفظه آن بپرهیزید.



درب دستگاه را بردارید و مسیر نور را که پس از عبور از عدسی، شکاف و منشور و باز تابش از آینه به سلول فتوسل می‌رسد را تعقیب کنید. یک قطعه کاغذ سفید در محل شکاف ورود نور به سلول فتوالکتریک قرار دهید و محل شکاف و عدسی ابتدای دستگاه را طوری تنظیم کنید که تصاویر رنگی شکاف بوضوح مشاهده و در یکدیگر وارد نشده باشند. به کمک پیچ‌های مربوطه وضعیت آینه و محل سلول را طوری تنظیم کنید که بخش مورد نظر طیف جیوه پس از عبور از تک شکاف (بصورت تک رنگ) به فتوسل برسد. با توجه به طیف جیوه طول موج آن را تعیین و یادداشت کنید. درب دستگاه را کاملاً ببندید تا از ورود نور اضافی محیط آزمایشگاه به سلول جلوگیری شود (در صورتی که آزمایشگاه تاریک است و لامپ مطالعه شما محیط سلول را روشن نمی‌کند، نیازی به بستن درب دستگاه نیست). در محل استقرار لامپ جیوه یک دریچه فلزی قرار دارد که در مواقع لزوم می‌توانید آن را ببندید تا مانع ورود نور لامپ جیوه به دستگاه شوید.

بدنه دستگاه را توسط یک سیم مناسب به سیم زمین آزمایشگاه متصل نمایید تا از بروز اختلالات احتمالی جلوگیری و دقت آزمایش بیشتر گردد.

به کمک یک سیم هم‌محور خروجی دستگاه که کاتد و آند سلول فتوالکتریک است را به دستگاه اندازه‌گیری که دارای تقویت کننده است متصل نمایید. دستگاه اندازه‌گیری بصورتی عمل می‌کند که قادر است ولتاژ معکوس به سلول داده و شدت جریان مدار را اندازه‌گیری نماید.

دریچه ورود نور دستگاه را ببندید و دستگاه اندازه‌گیری را روشن کنید پس از چند دقیقه که گرم شد و به حالت پایدار رسید، ولتاژ معکوس را روی صفر قرار داده و توسط پیچ صفرکننده (Zero.ad) گالوانومتر دستگاه اندازه‌گیری را صفر کنید. دامنه تقویت را توسط پیچ مربوطه افزایش داده مجدداً گالوانومتر را صفر کنید و این عمل را برای دامنه‌های تقویت بالاتر نیز تکرار کنید. حال دریچه را باز کنید و انحراف عقربه گالوانومتر را ملاحظه نمایید.

ولتاژ معکوس را بتدریج اعمال کنید تا عقربه گالوانومتر به صفر برسد. به محض صفر شدن گالوانومتر دیگر تغییری در ولتاژ معکوس ایجاد ننمایید و ولتاژ را قرائت و میانگین آن‌ها را یادداشت نمایید.

دامنه تقویت را صفر کنید و درب دستگاه را برداشته و طول موج دیگری را به سلول بتابانید و برای آن نیز مراحل فوق را تکرار و میانگین ولتاژ معکوس را یادداشت نمایید. پس از آنکه که مراحل فوق برای کلیه طول موجهای لامپ جیوه انجام شد منحنی ولتاژ را بر حسب بسامد نور ترسیم کنید.

با اندازه‌گیری ضریب زاویه و عرض از مبدا نمودار معادله خط را بنویسید و با استفاده از آن مقادیر h و Φ_0 را محاسبه کنید:

$$V_o = -\frac{\Phi_o}{e} + \frac{h\nu}{e} = a + b\nu \quad (9)$$

فرکانسهای مربوط به طیف جیوه	
فرکانس ν	رنگ
7.41×10^{14}	بنفش کم رنگ
6.88×10^{14}	بنفش پر رنگ
5.49×10^{14}	سبز
5.19×10^{14}	زرد

سوالات:

1. چرا فیزیک کلاسیک نمی‌تواند اثر فتوالکتریک را توصیف کند؟
2. علت انتخاب فلزات قلیایی برای کاتد چیست؟
3. آیا می‌توان تابع کار کاتد را در این آزمایش اندازه گرفت؟
4. آیا برخورد نور لامپ جیوه به آند باعث ایجاد خطا در نتیجه آزمایش می‌شود؟
5. به نظر شما چرا نور لامپ جیوه را مستقیماً به فتوسل نمی‌تابانیم و از ابزار اپتیکی برای هدایت نور استفاده می‌کنیم؟ دلیل استفاده از تک تک ابزارهای اپتیکی این آزمایش را بیان کنید.



اندازه گیری بار مخصوص الکترون

اهداف آزمایش:

- ✓ مطالعه انحراف الکترون در میدان مغناطیسی
- ✓ اندازه گیری بار مخصوص الکترون

ملاحظات نظری:

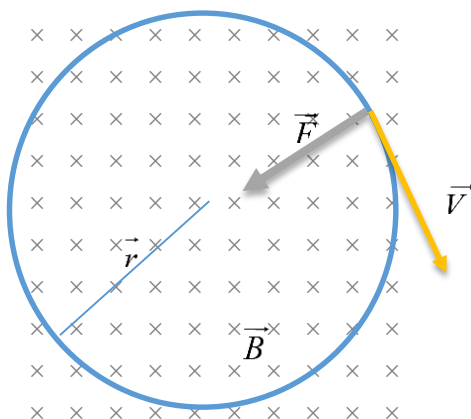
اندازه گیری جرم الکترون در یک آزمایش بسیار مشکل است ولی بدست آوردن بار مخصوص الکترون، یعنی نسبت بار به جرم الکترون $\epsilon = e / m_e$ ، کار نسبتاً ساده‌ای است. در این آزمایش قصد ما محاسبه این مقدار توسط روابط بسیار ساده ریاضی و فیزیکی، به همراه مشاهدات ساده ولی دقیق آزمایشگاهی است.

اگر الکترونی با سرعت V در راستای عمود بر میدان مغناطیسی یکنواخت B حرکت کند، نیروی لورنتس به صورت زیر بر الکترون اثر می‌کند.

$$F = eV \times B \quad (1)$$

که این نیرو عمود بر سرعت الکترون و میدان مغناطیسی است پس یک نیروی مرکزگرا بر آن اثر می‌کند این نیرو الکترون را وادار به حرکت در یک مسیر حلقوی به شعاع r مینماید:

$$F = \frac{m_e V^2}{r} \quad (2)$$



بنابراین از معادلات 1 و 2 داریم :

$$\frac{e}{m_e} = \frac{V}{r.B} \quad (3)$$



در این آزمایش الکترون‌ها در یک باریکه داخل حباب شیشه‌ای به وسیله ولتاژ U شتاب می‌گیرند بنابراین انرژی جنبشی آن‌ها برابر خواهد بود با :

$$U.e = \frac{m_e V^2}{2} \quad (4)$$

با توجه به روابط 4 و 5 بار مخصوص الکترون (نسبت بار الکترون به جرم آن) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2U}{(r.B)^2} \quad (5)$$

حباب شیشه‌ای حاوی مولکول‌های هیدروژن در فشار پایین می‌باشد که از برخورد الکترون‌های پر انرژی با این مولکول‌ها نور منتشر می‌شود و همین موضوع باعث می‌شود که مسیر حرکت الکترون‌ها به صورت غیر مستقیم قابل رویت باشد و شعاع حلقه مسیر حرکت آن‌ها را به راحتی اندازه گرفت.

میدان مغناطیسی مورد نیاز توسط پیچه هلمهولتز تهیه می‌شود که این میدان با جریان در پیچه متناسب است

$$B = k.I \quad (6)$$

ارتباط بین پتانسیل الکترون‌ها، U ، و جریان سیم‌پیچ‌ها، I ، را به ترتیبی تنظیم می‌کنیم که شعاع مدار الکترون‌ها، r ، ثابت بماند.

در ادامه با در نظر گرفتن معادله های 5 و 6 داریم :

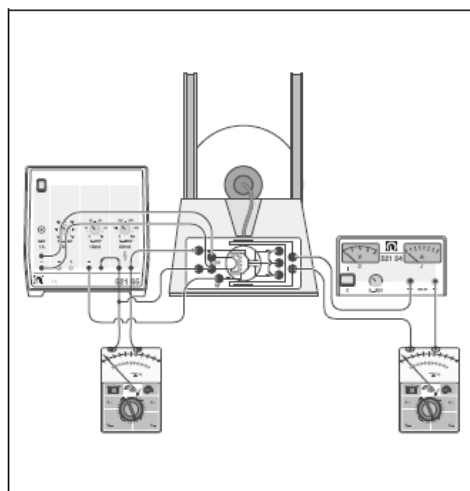
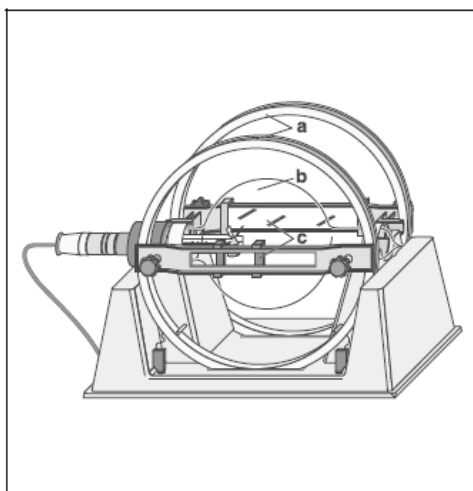
$$U = \frac{e}{m_e} \cdot \frac{1}{2} r^2 \cdot k^2 \cdot I^2$$

$$k = \mu_o \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{n}{R}$$

$$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

حلقه هلمهولتز شامل 130 دور می باشد و شعاع حلقه هلمهولتز نیز 150 mm می باشد.

حال تمامی فاکتورها برای اندازه‌گیری بار مخصوص الکترون برایمان مشخص است. تصویر دستگاه آزمایش و مدار آن نیز در شکل نمایش داده شده است.



انجام آزمایش:

تمام اندازه‌گیری‌ها در اتاق تاریک انجام شود.

پیچه‌های هلمهولتز ممکن است در جریان بیش از 2 آمپر برای مدت کوتاهی باردار شود.

پس از برقرار کردن اتصالات :

- در حالی که از خاموش بودن منبع تغذیه مطمئن هستید تمام ولوم‌های روی منبع تغذیه را به سمت چپ بچرخانید تا کاملاً چفت شوند.
- منبع تغذیه DC را روشن کرده و ولتاژ آن را روی 300 ولت تنظیم کنید.
- انتشار گرما یونی بعد از چند لحظه از گرم شدن فیلمان آغاز می‌شود.
- فوکوس باریکه الکترون را به وسیله تغییر ولتاژ از 0 تا 10 ولت تنظیم می‌کند تا وقتی که به وضوح دیده شود.
- منبع تغذیه پیچه‌های هلمهولتز را روشن کرده و جریان را کنترل کنید تا جایی که باریکه منحرف شود و یک مسیر بسته به وجود آورد.
- نشانه سمت راست خط‌کش را طوری ثابت کنید که لبه داخلی آن با تصویرش و باریکه خارج شده از فیلمان در یک راستا دیده شوند.
- نشانه سمت چپ را به فاصله 8 سانتی متر از نشانه سمت راست قرار دهید.
- نشانه سمت چپ به گونه‌ای باشد که با تصویرش در آینه کاملاً منطبق باشد.
- حال جریان را آنقدر زیاد کنید که باریکه الکترون با نشانه سمت چپ کاملاً مماس باشد.
- پتانسیل را مرحله به مرحله (هر بار 20 ولت) کاهش دهید تا به 150 ولت برسد و در هر مرحله جریان را به گونه‌ای تنظیم کنید که شعاع باریکه الکترون 8 سانتی متر باقی بماند و هر بار ولتاژ و جریان را یادداشت کنید.
- با استفاده از روابط ذکر شده مقدار بار ویژه الکترون را برای هر بار آزمایش بدست آورید .

- نمودار U بر حسب I^2 را رسم کرده و از شیب آن بهترین گزینه برای نسبت بار به جرم الکترون را محاسبه نمایید.

سوالات:

1. برای محاسبه بار به جرم الکترون چه روش عملی و یا تئوری غیر از روش استفاده شده در این آزمایش می‌توانید پیشنهاد دهید؟
2. نیروی لورنتس چه نیرویی است و چرا بر الکترون‌های این آزمایش اثر می‌گذارد؟
3. محفظه شیشه‌ای حاوی چه گازی است؟ چگونه تشخیص دادید؟ و چرا در فشار پایین است؟ آیا می‌توان به جای این گاز از گاز نئون و یا هر گاز دیگری استفاده کرد؟
4. منظور از فشار پایین چیست؟ اگر چگالی گاز درون محفظه را با چگالی هوا مقایسه کنید به چه نتیجه ای می‌رسید؟
5. چگالی هوا به چه فاکتورهایی بستگی دارد و مقدار آن چقدر است؟
6. فکر می‌کنید چه فاکتورهایی باعث افزایش ضریب خطای شما در این آزمایش شد؟
7. آزمایشگاه برای شما چه تمهیداتی باید بیندیشد تا درصد خطای آزمایشتان به حداقل مقدار برسد؟



آزمایش سری (دنباله) بالمر

هدف آزمایش:

✓ بررسی طیف هیدروژن و اندازه‌گیری طول موج‌های آن

✓ تعیین ثابت ریدبرگ

ملاحظات نظری :

ساده‌ترین مدلی که بر اساس فیزیک جدید می‌توان به یک اتم ایزوله شامل هسته مثبت و الکترون-های منفی نسبت داد، مدل سیاره‌ای نیلز بوهر است که در سال 1913 توسط بوهر پیشنهاد شد. طبق مدل بوهر الکترون فقط در مدارهایی می‌تواند حضور داشته باشد که اندازه حرکت زاویه‌ای الکترون در آن مدارها مضرب درستی از $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ باشد. منظور از h ، همان ثابت پلانک است که در آزمایش قبل بدست آوردید. بوهر با استفاده از این اصل غیرکلاسیکی و در نظر گرفتن برخی روابط کلاسیکی انرژی الکترون‌ها در مدارهای مجاز را توسط رابطه زیر بدست آورد:

$$E_n = \frac{-m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2}, n=1,2,3,\dots \quad (1)$$

m_e, ϵ_0 ، به ترتیب نشان دهنده گذردهی فضای آزاد و جرم الکترون هستند. توجه کنید که این انرژی منفی است و کمترین انرژی مربوط به $n=1$ است.

گاهی به جای به کار بردن واحد ژول برای انرژی از واحد الکترون ولت استفاده می‌کنیم. یک الکترون ولت انرژی است که الکترون با گذار از اختلاف پتانسیل 1 ولتی کسب می‌کند. از آنجا که $e = 1.6 \times 10^{-19}$ کولن است، $1 \text{ ev} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Joule (v.c)}$ خواهد بود. با این توضیح انرژی الکترون در مدار مجاز n م طبق رابطه زیر ساده می‌شود:

$$E_n = \frac{-13.6}{n^2} \text{ ev}, n=1,2,3,\dots \quad (2)$$

با توجه به این فرمول فاصله ترازهای انرژی برای n های کوچک نسبت به n های بزرگتر بسیار زیاد است به طوری که ترازهای بالای انرژی بسیار به هم نزدیکند.

از قوانین فیزیک کلاسیک می‌دانیم که ذره باردار شتابدار انرژی تابش می‌کند. اما یکی دیگر از اصول موضوعه مدل بوهر این است که مادامی که الکترون در یکی از مدارهای مجاز قرار دارد انرژی تابش نمی‌کند و صرفاً وقتی انرژی تابش می‌نماید که از یک مدار مجاز به مدار مجاز پایین‌تر گذار کند. انرژی کوانتای تابش شده برابر اختلاف انرژی بین دو تراز است. بنابراین طبق اصل موضوعه دوم بوهر کوانتای انرژی تابش شده به صورت زیر حاصل می‌شود:



$$h\nu = E_{n_2} - E_{n_1}; \quad n_2 > n_1 \quad (3)$$

ν فرکانس تابش منتشر شده و انرژی بر حسب ژول است. اگر این رابطه را با رابطه (1) تلفیق کنیم به عبارت زیر می‌رسیم:

$$\nu = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \quad (4)$$

اگر این رابطه را بر حسب عدد موج یا عکس طول موج بازنویسی کنیم، داریم:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (5)$$

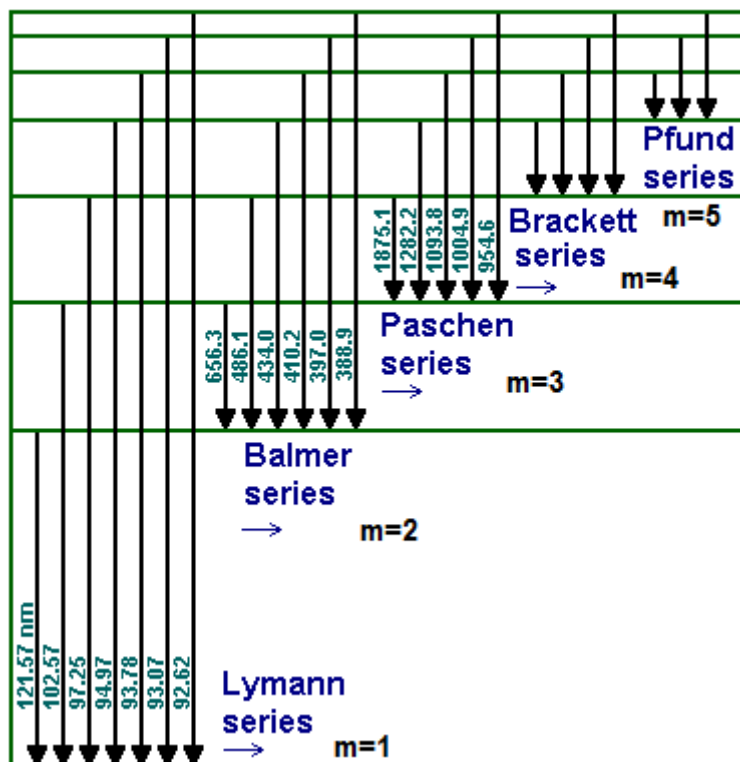
$$R = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2 c} = 1.097 \times 10^7 \frac{1}{m}$$

طول موج برخی از خطوط طیف اتم هیدروژن در شکل (1) آمده است. چنانچه گفته شد بوهلر الکترون‌ها را در ترازهای گسسته مدل سازی کرد که گذار الکترون بین این ترازهای مجاز منجر به گسیل کوانتای تابش یعنی فوتون می‌گردد. ولی پیش از وی بالمر در سال 1885 این فرمول را به طور تجربی برای اتم هیدروژن بدست آورده بود. در فرمول سری بالمر $n_1 = 2$ است. اگر چه خود بالمر عنوان نموده بود که فرمول وی برای حالات کلی تری نیز صادق است، مثلاً وجود یک سری که با مقدار $n_1 = 3; n_2 > 3$ مشخص می‌شود را پیشنهاد نموده است، بعدها سری اخیر توسط پاشن Paschen در سال 1908 کشف گردید و ...

با مطالعه مدل بوهلر این سوال به ذهن خطور می‌کند که در صورتی که گذار الکترون از تراز بالا به پایین ممکن است پس باید این گذار از پایین به بالا با دریافت مقدار انرژی برابر با اختلاف انرژی بین دو تراز نیز امکان پذیر باشد. جیمز فرانک و گوستاو هرتز نتایج مطالعات خود را در این زمینه در سال 1913 یعنی همزمان با ارائه مدل بوهلر منتشر کردند.

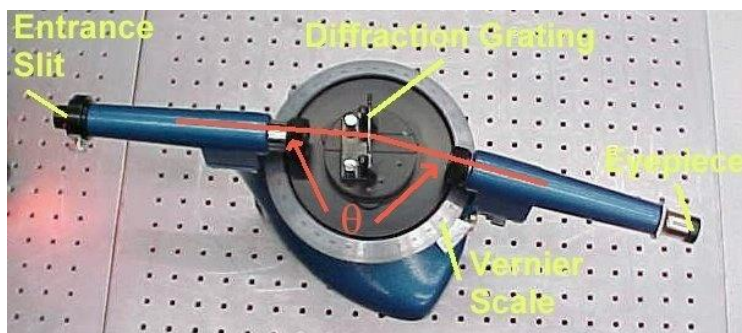
اتم در حالت $n = 1$ در تراز پایه انرژی خود به سر می‌برد. افزایش انرژی الکترون به تراز دوم یعنی $n=2$ نیازمند انرژی $10.21 - 3.39 = 13.6 \text{ eV}$ است. این انرژی برای برانگیزش الکترون از روشهای مختلف امکان دارد فراهم شود. به عنوان مثال اتم با جذب فوتون به تراز بالا گذار کند (چنانچه در آزمایش فتوالکتریک برانگیختگی اتم توسط این روش انجام می‌شد.) یا با گرم کردن گاز الکترونی انرژی لازم برای برانگیزش الکترون را فراهم کنیم. در این صورت میانگین انرژی جنبشی یک اتم $\frac{E}{2} = \frac{3}{2} kT$; $k = 1.38 \times 10^{-23} \frac{J}{K} = 8.6 \times 10^{-5} \frac{eV}{K}$ است. در این رابطه k ثابت بولتزمن است.

این انرژی جنبشی گرمایی معادل $T = 8 \times 10^4 K \longrightarrow 10.21 = 3/2kT$ را نیاز دارد. واضح است که چنین دمای بالایی به راحتی در آزمایشگاه قابل حصول نیست.



شکل (1): ترازهای انرژی اتم هیدروژن

روش آزمایش:

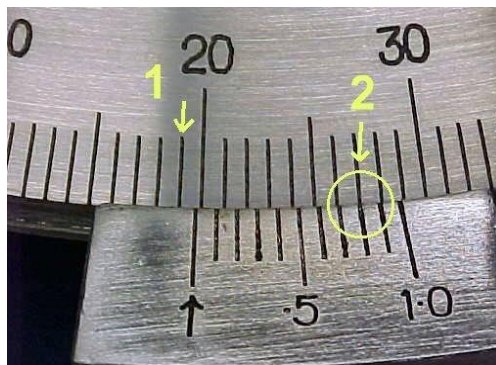


شکل (2): از دستگاه اسپکترومتر برای اندازه گیری طول موج خطوط طیف استفاده می‌گردد.

- توری پراش را در محل خود روی میزچه اسپکترومتر قرار داده و سطح آن را بر امتداد لوله کلیماتور یا موازی ساز عمود نمائید و پیچ میزچه را محکم کنید تا در حین آزمایش حرکت نکند.



- لوله طیفی (لامپ) هیدروژن را با احتیاط بین دو گیره فنی مربوطه که برپایه‌ای قائم بسته شده‌اند قرار دهید. ارتفاع لوله را طوری تنظیم کنید که شکاف لوله موازی ساز اسپکترومتر در مقابل قسمت باریک لوله قرار گیرد. منبع تغذیه را روشن کنید و با پیچاندن پیچ تنظیم ولتاژ، اختلاف پتانسیل را افزایش دهید تا نور لامپ هیدروژن یکنواخت و بدون لرزش گردد. شکاف لوله موازی ساز اسپکترومتر را کمی باز کنید و از درون چشمی دوربین اسپکترومتر، که در امتداد لوله موازی ساز قرار داده‌اید، نور لامپ هیدروژن را مشاهده نمایید و به تدریج پهنای شکاف را کاهش دهید تا باریکه کوچکی از نور وارد دستگاه گردد.
- تار عمودی چشمی دوربین را بر روی این باریکه (که به رنگ نور لامپ دیده می شود) منطبق نموده و با استفاده از درجه بندی و ورنیه اسپکترومتر، عدد زاویه مربوطه را قرائت کنید (θ_0)



$$\lambda_n = d \sin \theta_n$$

- اکنون پیچ حرکت لوله دوربین را قدری باز کنید تا بتوانید براحتی آن را به چپ و راست حرکت دهید. ضمن این که در چشمی نگاه می کنید لوله را به آهستگی به طرفی دلخواه بچرخانید تا خطوط رنگی طیف را که از بنفش شروع و به قرمز ختم می شود ببینید. وقتی که از خطوط مزبور مطمئن شدید، لوله را طوری قرار دهید که تار عمودی چشمی بر خط مورد نظر (مثلا بنفش) از طیف منطبق گردد. عدد زاویه را قرائت کنید (θ_1) و مجدداً لوله را حرکت دهید تا برای بقیه خطوط طیف زوایای θ_2' و θ_3' بدست آیند. اعداد حاصل از آزمایش را در جدولی مطابق جدول زیر خلاصه کنید و مقادیر $\theta_n = \theta_n' - \theta_0$ را که در آن $n=1,2, \dots$ است. برای خطوط طیف مرتبه اول ($k=1$) (طیف مرتبه اول طیفی است که هر خط آن برای اولین بار بلافاصله پس از خط مرکزی، که به رنگ چشمه است، در توری دیده می شود) بدست آورده و با استفاده از فرمول توری پراش: $\lambda = d \sin \theta$

که در آن d فاصله دو خط متوالی توری λ طول موج نور مربوط به خط طیفی است، طول موج‌ها و بسامدهای خطوط مختلف طیف هیدروژن را محاسبه و در جدول قید نمائید و در مقابل هر موج رنگ مشاهده شده برای آن را نیز بنویسید.

θ'_0	$\theta_n = \theta'_n - \theta'_0$	$\lambda_n = d \sin \theta_n$	رنگ خط	$\nu_n = \frac{c}{\lambda_n}$
θ'_1	θ_1	λ_1	بنفش	ν_1
θ'_2	θ_2	λ_2	$\vdots$	ν_2
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
θ'_n	θ_n	λ_n	قرمز	ν_n

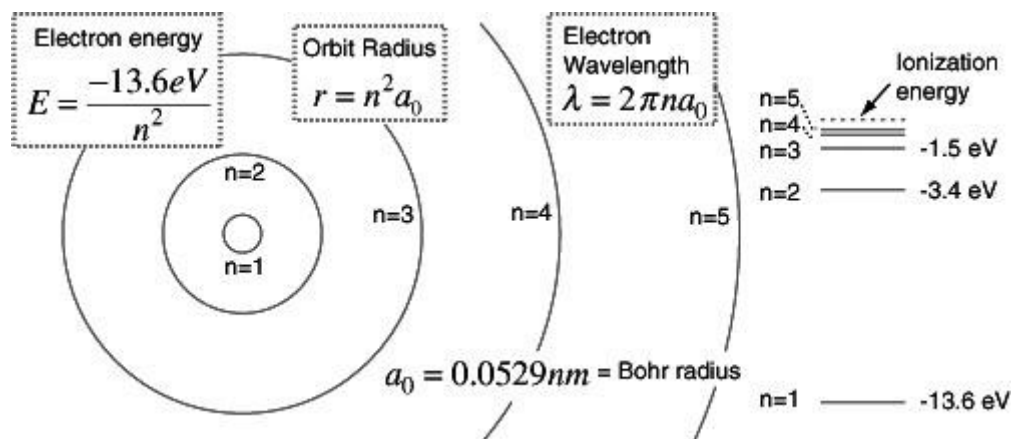
خطوطی از طیف هیدروژن که در ناحیه مرئی قرار دارند عبارتند از قرمز، آبی، بنفش 1، بنفش 2 که برای آنها در رابطه دنباله بالمر:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = Rc \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad m=3,4,\dots \quad (9)$$

می باشد. اگر این رابطه را ساده کنیم داریم:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = -\frac{Rc}{m^2} + \frac{Rc}{4}$$

که تابعی خطی از $\frac{1}{m^2}$ بوده که شیب آن $-Rc$ و عرض از مبدا آن $Rc/4$ است. پس منحنی تغییرات ν را بر حسب $\frac{1}{m^2}$ برای بسامدهای بدست آمده ترسیم نموده ضریب زاویه خط حاصل و عرض از مبدا آن را تعیین و مقدار R (ثابت ریدبرگ) را بدست آورید. پس از تعیین R ، آنها در رابطه دنباله بالمر قرار داده و با قرار دادن مقادیر 3 و 4 و... برای m کلیه بسامدهای دنباله بالمر را محاسبه و با مقادیر تجربی بدست آمده مقایسه صحت دنباله بالمر را تحقیق کنید، بسامد و طول موج حدی دنباله را تعیین کنید.



سوالات:

با قرار دادن R در دنباله‌های لیمن $n=1$ و پاشن $n=2$ و براکت $n=4$ و فوند $n=5$ محدوده‌های فرکانس و طول موج هر دنباله را تعیین و در جدول زیر درج نمائید و علت عدم مشاهده سایر دنباله‌ها در آزمایش فوق را دریابید.

نام دنباله	$\lambda_{\max}$	$\nu_{\min}$	$\lambda_{\min}$	$\nu_{\max}$
لیمن				
بالمر				
پاشن				
براکت				
فوند				

با فرض اینکه اندازه حرکت زاویه‌ی الکترون مداری مضرب صحیحی از $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ می‌باشد (یعنی $m v r_n = n \hbar$) که در آن m جرم الکترون، u سرعت آن و m شعاع دوران مدار n ام است. و موازنه نیروی جانب مرکز الکترون با نیروی جاذبه الکتریکی در اتم هیدروژن و نیز استفاده از بقاء انرژی مکانیکی، انرژی الکترون مداری را وقتی که در مدار n ام و مدار m ام قرار می‌گیرد تعیین و با مساوی قرار دادن اختلاف آن‌ها در رابطه پلانک دنباله‌ای برای تعیین بسامدهای نور تابشی از اتم هیدروژن بدست آورد، و وابستگی ثابت ریدبرگ به m و e و h و سایر ثوابت جهانی را تعیین و مقدار نظری R را محاسبه و با مقدار بدست آمده از آزمایش مقایسه کنید.



آزمایش قطره روغن میلیکان

هدف آزمایش:

✓ تحقیق کوانتومی بودن بار الکتریکی و تعیین بار الکتریکی الکترون

ملاحظات نظری :

در انتهای قرن نوزدهم میلادی، مدلی از اتم که مورد قبول همه باشد در دسترس نبود؛ اما این را می دانستند که هرگاه پرتوهای فرابنفش به فلزاتی بتابد، ذراتی با بار منفی و سرعت کم، از آن تابش می شود (پدیده ی فوتوالکتریک). تامسون مقدار $\frac{q}{m}$ را برای ذرات این آزمایش و چند آزمایش دیگر (آزمایش با اشعه ی کاتدی و پدیده ی ترمیونیک) بدست آورد. مقدار $\frac{q}{m}$ یکسان بود!! برابر بودن مقدار $\frac{q}{m}$ برای ذرات منفی که از منابع مختلف بدست آمده بودند؛ این نتیجه را داد که تمام بارها، مربوط به یک ذره ی مشخص هستند. اما اولین سنجش مقدار بار آن ذره (که توسط جورج استونی در 1891 "الکترون" نام گرفته بود) توسط میلیکان با **آزمایش قطره ی روغن** صورت پذیرفت.

زیبایی آزمایش قطره روغن در این بود که امکان دقیق بار الکتریکی بنیادی را می داد. همچنین معلوم می کرد که بار الکتریکی ماهیت ذره ای و غیر پیوسته دارد. میلیکان در سال 1923 جایزه ی نوبل فیزیک را بواسطه ی این آزمایش و تحقیقات دیگری که انجام داده بود، از آن خود کرد.

از لحاظ تئوری می دانیم برای ذره ی بسیار کوچکی که در سیالی (مثلا هوا) با سرعت حدی ثابت v_{t1} سقوط می کند، طبق قانون دوم نیوتن خواهیم داشت:

$$Mg + F_A + F_f = 0$$

که در آن F_A نیروی ارشمیدسی رو به بالا است و F_f نیروی مقاومی است که طبق قانون استوکس بدست می آید.

اگر ذره با سرعت حدی سقوط نکند دیگر طرف راست رابطه ی بالا صفر نخواهد شد؛ اما می توانیم نیروی دیگری وارد کنیم تا حاصل صفر شود. مثلا اگر این ذره ی ریز همان قطره های روغن ما باشند و آن ها را درون یک میدان الکتریکی قائم یکنواخت قرار دهیم، آنوقت یک نیروی دیگر، نیروی الکتریکی عمودی، نیز به سیستم وارد می شود که با تنظیمات دستی می توانیم ذره را به سرعت حدی برسانیم.



طبق قانون استوکس، اگر یک ذره بسیار کوچک کروی (مثل قطره ریز روغن) که شعاع آن r در حدود مسافت آزاد میانگین مولکول‌های هوا (سیال) باشد، با سرعت v در هوا حرکت کند، نیروی مقاومی که به آن وارد می‌شود عبارتست از:

$$F = 6\pi r \eta v$$

که در آن η ضریب چسبندگی هوا (سیال) می‌باشد.

حال اگر این ذره با سرعت حدی ثابت v_{t1} سقوط کند در آن صورت خواهیم داشت:

$$mg - m_L g - 6\pi r \eta v_{t1} = 0 \quad (1)$$

که در آن m_L جرم هوای جابجا شده توسط قطره ریز روغن و mg نیروی رو به بالای ارشمیدس است. چون قطره ریز روغن کروی بوده و چگالی روغن ρ_0 و چگالی هوا ρ_L می‌باشد، بنابراین:

(2)

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho \Rightarrow \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_0 g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_L g - 6\pi r \eta v_{t1} = 0$$

که پس از ساده سازی خواهیم داشت:

$$r = \left(\frac{9 \eta v_{t1}}{2 \rho g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\rho = \rho_0 - \rho_L) \quad (3)$$

حال همانطور که گفته شد اگر قطره ریز روغن باردار در یک میدان الکتریکی E قائم یکنواخت قرارگیرد، (که این میدان از طریق اعمال اختلاف پتانسیل U به یک خازن مسطح افقی که فاصله صفحاتش برابر d می‌باشد ($E=U/d$) بدست می‌آید) در آن صورت نیروی الکتریکی عمودی ذیل نیز به آن وارد می‌شود.

$$F = Eq \quad (4)$$

اگر اختلاف پتانسیل U را به نحوی انتخاب نمائیم که قطره ریز با سرعت حدی ثابت v_{t2} بطرف بالا صعود نماید (صفحه بالایی خازن مثبت و صفحه پائینی خازن منفی) خواهیم داشت:

$$mg - m_L g + 6\pi r \eta v_{t2} - Eq = 0 \quad (5)$$

که پس از ساده سازی به شکل ذیل خواهد شد:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g + 6\pi r \eta v_{t2} - \frac{U}{d} q = 0 \quad (\rho = \rho_0 - \rho_L) \quad (6)$$

حال اگر U را چنان انتخاب نمائیم که قطره ریز روغن در هوا ساکن و معلق بماند، خواهیم داشت:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - \frac{U}{d} q = 0 \quad (\rho = \rho_0 - \rho_L) \quad (7)$$

با توجه به مطالب گفته شده، بار q یک قطره ریز روغن را با استفاده از دستگاه میلیکان را می‌توان اندازه‌گیری نمود.

قطرات ریز روغن را با اعمال اختلاف پتانسیل مناسب ساکن نموده و سپس سرعت سقوط آن‌ها را پس از حذف اختلاف پتانسیل (میدان E) اندازه‌گیری می‌کنیم (روابط (4) و (8) با جایگزینی رابطه (4) در معادله (8) خواهیم داشت:

$$q = ne = \frac{4}{3} \pi \rho g \frac{d}{U} \left(\frac{9}{2} \frac{\eta V_{tl}}{\rho g} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (8)$$

که در آن n , q برابر بار بنیادی e (بار الکترون) می‌باشد.

با استفاده از مقادیر عددی ذیل،

$$\eta = 1.825 \times 10^{-5} \frac{NS}{m^2}$$

$$\rho_0 = 985 \frac{Kg}{m^3}$$

$$d = 6 \times 10^{-3} m$$

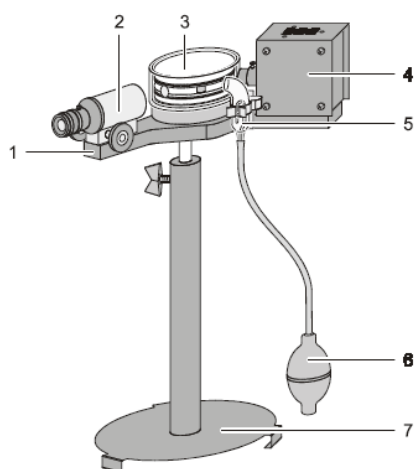
$$\rho_L = 1.29 \frac{Kg}{m^3}$$

رابطه (9) بصورت ذیل خلاصه می‌شود:

$$q = ne = cte \times \frac{(V_{tl})^{\frac{3}{2}}}{U} \quad (9)$$

انجام آزمایش

تنظیم دستگاه:



1. پایه اصلی
2. میکروسکوپ
3. صفحات خازن
4. منبع نور
5. منبع روغن (مانند عطر پاش عمل می‌نماید)
6. پمپ
7. پایه

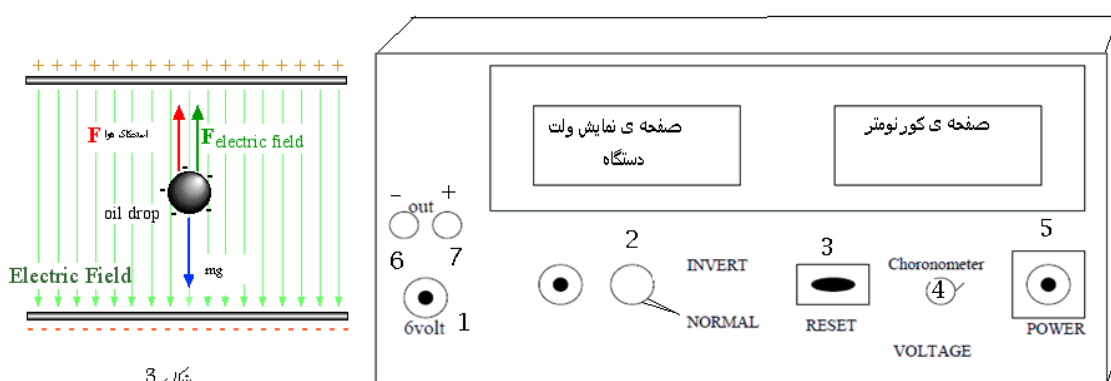
با استفاده از یک تراز که بر روی محفظه خازن دستگاه ملیکان قرار می‌دهید و چرخاندن پیچ‌های سه پایه، آن را کاملاً تراز نموده تا صفحات خازن کاملاً افقی و میدان الکتریکی کاملاً عمودی گردد. فیش اتصال نورافکن را به منبع تغذیه متصل نمائید.



محفظه خازن را با احتیاط برداشته و در محل مرکز آن سر لخت یک سیم افشان را قرار دهید. پس از روشن کردن نورافکن لوله میکروسکوپ را به گونه ای تنظیم نمائید که سر افشان سیم به وضوح مشاهده گردد. در این حالت میکروسکوپ برای مشاهده نواحی مرکزی خازن تنظیم شده است. سیم افشان را بردارید و محفظه خازن را در محل اولیه اش قرار دهید. در حالتی که ولتاژ دستگاه برابر صفر است، دو سیم رابط از خروجی منبع تغذیه را به محل اتصال آنها در صفحات خازن وصل نمائید. (صفحه بالایی مثبت و صفحه پائینی منفی).

توجه کنید که منبع تغذیه و کروномتر را متوقف کرده و در حالت قطع ولتاژ، کروномتر را فعال نماید.

شکل ذیل مربوط به نمای منبع تغذیه و کرومتر مدل 5107 می باشد.



شکل 3

اگر کلید سمت چپ را در حالت Normal قرار دهید ، چنانچه کلید سمت راست در وضعیت Voltage قرار گیرد، تنها ولتاژ برقرار شده و کروномتر از کار می افتد و چنانچه کلید سمت راست در وضعیت Chronometer قرار گیرد تنها کروномتر فعال بوده و ولتاژ قطع می شود.

حال اگر کلید قسمت چپ را در وضعیت Invert قرار دهید، وضعیت معکوس خواهد شد یعنی چنانچه کلید سمت راست در Voltage وضعیت قرار گیرد، هم ولتاژ برقرار شده و هم کروномتر بکار می افتد و چنانچه کلید سمت راست در وضعیت Chronometer قرار گیرد ولتاژ و کروномتر هر دو با هم قطع می شوند.

کلید Reset نیز برای صفر نمودن کروномتر بکار می رود.

انتخاب قطره:

در حالتی که ولتاژ صفحات خازن برابر صفر است، با چند بار فشردن تلمبه روغن پاش، پودری از ذرات ریز روغن را به داخل محفظه بفرستید و با میکروسکوپ آن ها را که به صورت نقاط روشنی در محیط ایجاد می گردند، مشاهده کنید. اغلب این ذرات در اثر اصطکاک بصورت مثبت و یا منفی با بار کم و یا زیاد باردار شده اند. لذا اگر بین صفحات ولتاژی برقرار شود، حرکت آن ها برخی سریع، برخی کند و عده ای نیز معکوس خواهد بود.

قطراتی برای انجام آزمایش مناسب ترند که دارای بار کمی باشند (تعداد کمی الکترون داشته باشند) بنابراین ذراتی را انتخاب نمائید که :



الف) بدون وجود ولتاژ بسیار آهسته سقوط نمایند.

(توجه کنید که چون میکروسکوپ تصویر را وارانه نمایش می دهند، از پشت چشمی مشاهده می کنیم که قطرات به سمت بالا حرکت می کنند)

ب) با اعمال ولتاژی بالا (حدود 400 الی 600) بسیار آهسته صعود نمایند. (از پشت چشمی قطرات به آهستگی به سمت پایین حرکت می کنند)

روش انجام آزمایش

روش تعادلی: پس از انتخاب قطره مناسب با اعمال ولتاژ آن را به پائین درجات میکرومتر منتقل نمائید (کلید سمت چپ در حالت Normal و کلید سمت راست در حالت Voltage).

حال اختلاف پتانسیل را آنقدر تغییر دهید تا قطره روغن ساکن شود. ولتاژ مربوطه، U را یادداشت کنید. و با فشار دادن دکمه Reset کرومومتر را صفر کنید.

حال کلید سمت راست را در وضعیت Chronometer قرار دهید. با این عمل ولتاژ قطع و قطره شروع به سقوط می نماید (از پشت چشمی مشاهده می کنیم که ذره به سمت بالا حرکت می کند). زمان t را که طول می کشد تا قطره تعداد x درجه بندی از میکرومتر، طی کند را یادداشت نمائید. برای این منظور کافی است هنگامی که x به مقدار مورد نظر شما می رسد کلید سمت راست را در وضعیت Voltage قرار دهید. مسافت واقعی طی شده توسط قطره از رابطه ذیل بدست می آید:

$$S = \frac{x}{1.875} \times 10^{-4} m \quad (10)$$

که V_{t1} متناظر با آن عبارت خواهد بود از:

$$V_{t1} = \frac{S}{t} \quad (11)$$

با استفاده از رابطه (10) مقدار q را می توان بدست آورد.

نظر به اینکه اندازه قطرات روغن بین 10^{-6} تا 10^{-7} تخمین زده می شوند، لذا مقادیر اندازه گیری شده برای q باید تصحیح شوند. برای نیل به این منظور ضریب η بصورت ذیل تصحیح می شود:

$$\eta' = \frac{\eta}{1 + \frac{b}{rP}} \quad (12)$$

که در آن b یک ثابت تجربی و P فشار هوا در آزمایشگاه می باشد. مقدار عددی b و P عبارتند از:

$$b = 6 \times 10^{-3} \text{ pa.m} \quad P(\text{pa}) = \frac{P(\text{mmHg})}{760} \times 1.03 \times 10^5 \quad (13)$$

با بکارگیری فرمول (16) مقدار صحیح بار الکتریکی q عبارت خواهد بود از:

$$q_p = \frac{q}{\left(1 + \frac{b}{rP}\right)^{\frac{3}{2}}}$$

$$r = 5 \times 10^{-7} \text{ m}$$

(14)

- حداقل ده بار q را اندازه‌گیری کرده و مقادیر بدست آمده را از کوچک به بزرگ طبقه بندی کنید.
- بارهایی که مقدار آن بیش از 10×10^{-19} است را حذف کنید.
- سپس نمودار ستونی داده های خود را رسم نمایید.
- داده ها را دسته بندی کنید. مثلاً اگر 3 داده به نسبت بقیه مقادیر مشابهی داشتند، فقط میانگینان را نگه دارید.
- فاصله ی بین پله ها در نمودار را اندازه‌گیری کنید و بین اندازه های بدست آمده میانگین گیری نمایید.
- میانگین بدست آمده مقدار e یعنی بار الکتریکی الکترون است.

سوالات

- 1- قطره روغن باردار در این آزمایش چگونه باردار می‌شود؟
- 2- چرا در این آزمایش از ذراتی که دارای سرعت زیاد نیستند، باید استفاده نمود؟
- 3- در مورد مهمترین خطاهای موجود در آزمایش بحث کنید؟



آزمایش فرانک- هرتز

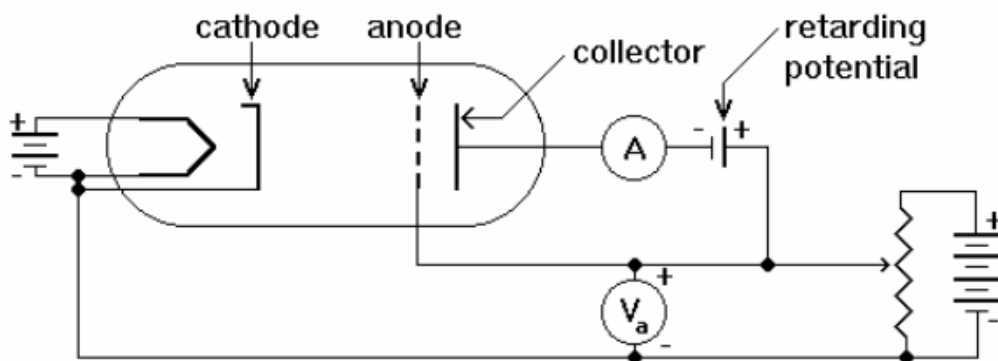
هدف آزمایش:

✓ مطالعه کوانتومی بودن ترازهای انرژی در اتم و اندازه‌گیری انرژی الکترون در اولین تراز انرژی اتم آرگون.

ملاحظات نظری :

چنانچه در آزمایش بالمر گفته شد، یکی از مناسب‌ترین و راحت‌ترین روش‌ها برای برانگیزش اتم‌های گازی استفاده از الکترون‌های پر انرژی و برخورد آن‌ها با اتم‌های گازی است. در این روش، احتمال گذار انرژی از الکترون پر انرژی به اتم گاز مورد نظر و برانگیختن آن وجود دارد. اگر انرژی باریکه الکترون‌ها کمتر از اختلاف انرژی حالت پایه و اولین حالت برانگیخته اتم گازی باشد، طبق نظریه بوهر انتقال انرژی از الکترون به اتم گازی صورت نمی‌گیرد و برخورد الکترون با اتم گازی یک برخورد الاستیک است. در صورتی که انرژی باریکه الکترون‌ها بیشتر یا برابر اختلاف انرژی حالت پایه و اولین حالت برانگیخته اتم گازی باشد، انتقال انرژی از الکترون به اتم گازی صورت گرفته و برخورد الکترون با اتم گازی یک برخورد غیرالاستیک است.

فرانک و هرتز از الکترون‌های پر سرعت برای اندازه‌گیری انرژی لازم برای گذار الکترون از حالت پایه به اولین حالت برانگیخته استفاده کردند. تصویر ساده‌ای از روش کار آن‌ها در شکل زیر به نمایش درآمده است:



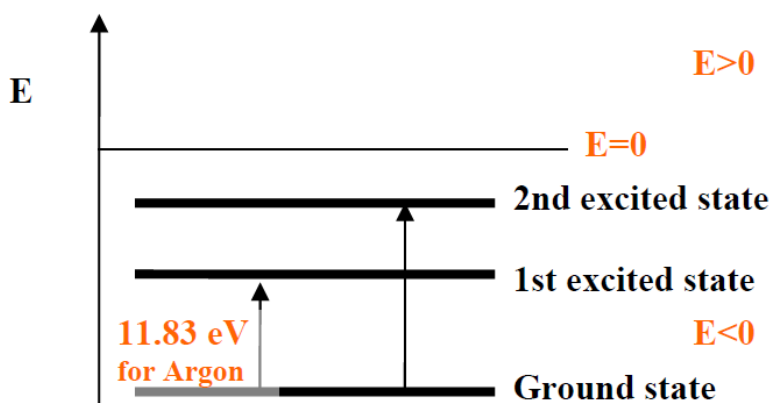
شکل (1): لامپ آزمایش فرانک- هرتز

لامپ حاوی گاز آرگون در غلظت پایین طبق شکل (1) شامل کاندی است که پس از گرم شدن تولید الکترون‌ها می‌توانند سطح آن را ترک کنند به این پدیده گسیل گرمایونی می‌گویند. الکترون‌های پر سرعت، پس از برخورد با اتم‌های گاز آرگون به آند که به شکل توری است و در ولتاژ مثبت‌تری نسبت به کاتد قرار دارند می‌رسند و به دلیل شکل توری‌وار آند الکترون‌ها از آن عبور می‌کنند و به جمع‌کننده که در ولتاژ منفی‌تری نسبت به آند است، می‌رسند و پس از آن توسط آمپر متر شمارش الکترون‌ها انجام می‌گیرد و یا به عبارت ساده‌تر جریان گزارش می‌شود.

الکترون‌های منتشر شده توسط کاتد با ولتاژ مشخص V_a شتاب می‌گیرند. اگر $eV_a < E_{n=2} - E_{n=1}$ باشد، چنانچه پیش‌تر گفته شد فقط برخورد الاستیک بین الکترون و اتم آرگون رخ می‌دهد و الکترون‌ها پس از عبور از آند توری شکل به جمع‌کننده و سپس به آمپر متر می‌رسند. اگر $eV_a = E_{n=2} - E_{n=1}$ باشد، جریانی که آمپر متر نشان



می‌دهد کاهش می‌یابد چرا که چنانچه پیش تر گفته شد فقط برخورد غیرالاستیک بین الکترون و اتم آرگون رخ می‌دهد و الکترون‌ها انرژی لازم جهت عبور از آند توری شکل و رسیدن به جمع کننده و سپس به آمپرمتر را نخواهند داشت. با افزایش ولتاژ V_a جریان مجدداً افزایش می‌یابد، چرا که الکترون‌ها برخورد غیرالاستیک با اتم‌های آرگون خواهند داشت تا جایی که دوباره انرژی الکترون‌ها برابر انرژی اتم‌های آرگون گردد و برخورد غیرالاستیک باعث کاهش جریان الکترونی گردد. این پروسه با افزایش منظم V_a تکرار می‌شود و منجر به تولید یک سری مینیمم و ماکزیمم‌های با گام یکسان در جریان الکترونی می‌گردد. اختلاف بین این مینیمم‌ها در منحنی پتانسیل-جریان تعیین کننده انرژی مورد نظر برای برانگیختن الکترون به اولین تراز اتم آرگون را تعیین می‌کند.



شکل (3): فاصله ترازهای انرژی اتم آرگون

دستگاه آزمایش فرانک - هرنتز

دستگاه آزمایش فرانک هرنتز به منظور اجرای یکی از آزمایش‌های فیزیک مدرن دانشگاهی ساخته شده است. در این ابزار از طریق برخورد آرام الکترون با اتم گاز رقیق شده الکترون اتم را، از تراز پایین تر به تراز بالاتر برانگیخته می‌کنیم و انرژی رد و بدل شده در برخورد را اندازه‌گیری می‌کنیم و به این ترتیب سطح انرژی تراز اتمی را مستقیماً اندازه‌گیری می‌کنیم. با کمک این دستگاه نه تنها منحنی بیناب اتمی را از طریق اندازه‌گیری نقطه به نقطه تعیین می‌کنیم بلکه منحنی شدت بیناب تراز اتمی را در صفحه فلئوئورسانس اسیلوسکوپ مشاهده و رسم خواهیم کرد.

با این وسیله می‌توان یکی از آزمایش‌های مهم فیزیک اتمی و مولکولی دانشگاهی را انجام داد. جمیز فرانک و گوستاو هرنتز با کمک دستگاهی مشابه این دستگاه برهمکنش بین ماده با ماده (الکترون‌های اشعه کاندی یا الکترون‌های ترازهای اتمی) را در گازهای متفاوت ثابت کردند و با اثبات کوانتیزه بودن ترازهای اتمی موفق به کسب جایزه نوبل فیزیک شدند.

مشخصات دستگاه:

ولتاژی که به لامپ فرانک هرنتز تغذیه می‌شود. $U_{G1K}=1/3-5 \text{ VOLT}$

ولتاژ بازگشتی $U_{G2A}=1/3-15 \text{ volt}$ با اعمال این ولتاژ الکترون‌هایی که انرژی کمی دارند (در اثر برخورد انرژی خود را از دست داده اند) بازگردانده می‌شوند.

اندازه‌گیری نقطه $U_{G2K}=0-100 \text{ VOLT}$: ولتاژ شتاب دهنده الکترون ها

مشاهده امواج دندان‌داره ای در اسیلوسکوپ $(0-50) \text{ Volt}$

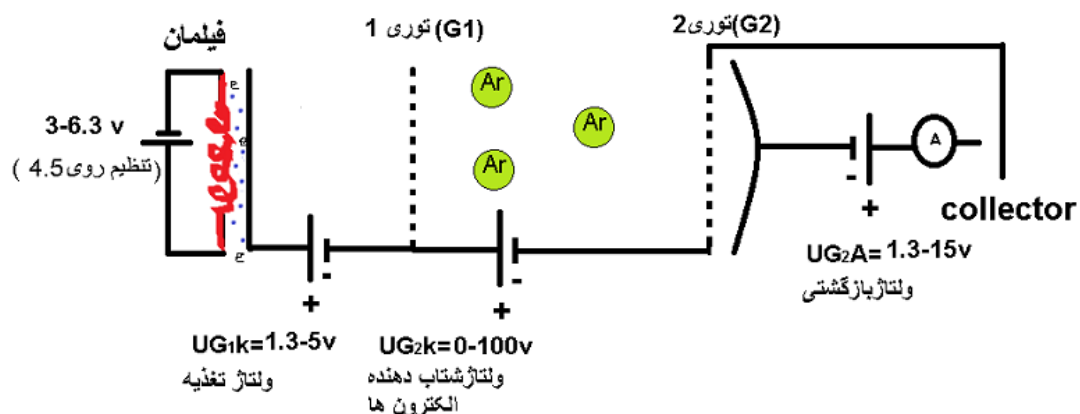
ولتاژ فیلامان U_H در AC ، $3,3/5,4,4/5,5,5/5,6,6/3$ ولت: ولتاژ گرم کننده فیلمان و در نتیجه گسیل الکترون از کاتد است.

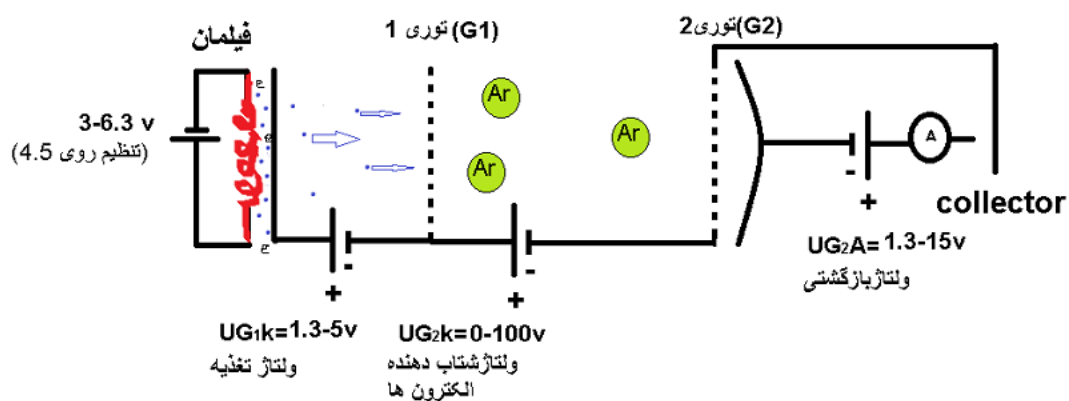
شرایط فیزیکی استفاده از دستگاه:

- توان قابل تحمل: 220 ± 25 ولت در فرکانس 50 هرتز
- زمان گرم شدن و راه اندازی اولیه دستگاه: کمتر یا حدود 5 دقیقه
- حداکثر زمان کار مداوم با دستگاه: 8 ساعت.
- توان ورودی: کمتر یا مساوی 15 وات

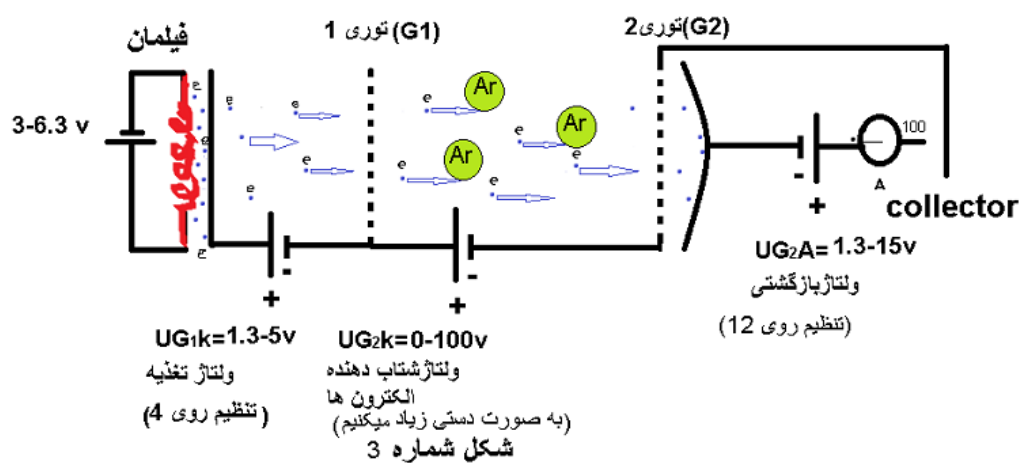
اصول کار با دستگاه:

لامپ فرانک هرتز یک لامپ سه قسمتی است که با گاز آرگون پر شده است و شکل زیر شمای الکترودها و ارتباط بین ولتاژها را نشان داده است.

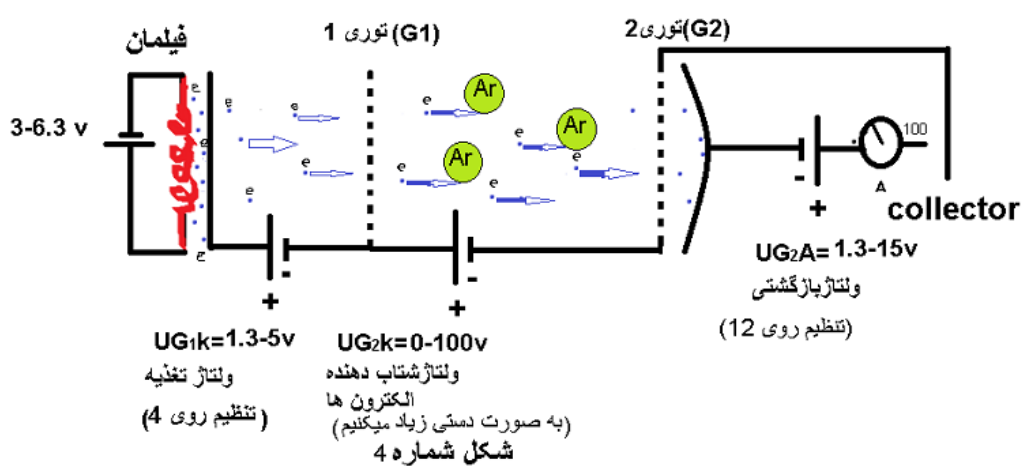




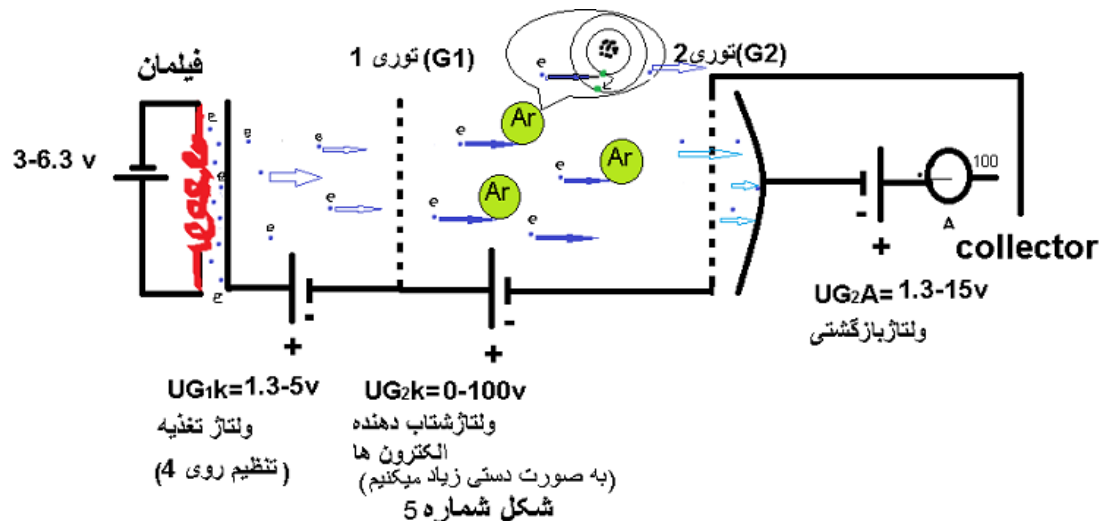
شکل شماره 2



شکل شماره 3



شکل شماره 4



برای گرم شدن فیلمان ولتاژ مربوطه را روی 4 ولت تنظیم می کنیم. برای اینکه تاثیر بار فضای روی پراکنش الکترون های ارسال شده از طرف کاتد را از بین ببریم و همچنین اینکه؛ این الکترون های انتقالی، شتاب گرفته و انرژی بیشتر و بیشتری قبل از رسیدن به محفظه ی آرگون کسب کرده باشند؛ قبل از محفظه یک توری وجود دارد.

زمانی که بین این توری (G1) و کاتد یک اختلاف پتانسیل برقرار سازیم، باعث ایجاد میدان الکتریکی جهت شتاب دادن به الکترون ها می شویم. این اختلاف پتانسیل باید حدود 4 ولت باشد.

اما در آغاز به دلیل کم بودن ولتاژ بین توری دوم G2 و کاتد انرژی الکترون کم است. بنابراین در ابتدا انرژی مبادله شده هنگام برخورد الکترون های کاتد با اتم گاز کم خواهد بود.

بنابراین جریان I_A به وسیله الکترون هایی که از توری دوم G2 عبور می کنند با افزایش U_{G2K} به همان نسبت افزایش خواهد یافت.

هنگامی که پتانسیل U_{G2K} به حد اولین پتانسیل برانگیخته ی تراز اتم گاز آرگون می رسد الکترون های اشعه کاتی با اتم های آرگون در بین دو شبکه (توری) G1 و شبکه دوم G2 برخورد می کند (این یک برخورد غیر الاستیک است) و کل انرژی گرفته شده از میدان پتانسیل خارجی به اتم های آرگون داده و الکترون آن ها را از وضعیت پایه به وضعیت اولین برانگیختگی (گزار اتمی) می رساند اما خود الکترون های اشعه کاتی که تمام انرژی را به اتم های آرگون انتقال می دهند نمی توانند به حرکت خود به دلیل از دست دادن انرژی ادامه دهند و در نتیجه از شبکه دوم G2 پس زده می شوند حتی اگر برخی از آن ها از توری شبکه دوم عبور کنند به آند (A) نخواهند رسید.

بنابراین جریان صفحه I_A به طور آشکار کاهش می یابد. در ادامه با افزایش مجدد U_{G2K} انرژی الکترون نیز افزایش می یابد و به اندازه ای می رسد که الکترون ها نمی توانند با اتم آرگون برهمکنش (مبادله انرژی) نمایند. بنابراین این انرژی می تواند الکترون های اشعه کاتی را بدون برهمکنش با اتم های گاز آرگون به صفحه آند A برساند و در این هنگام جریان I_A مجدداً شروع به افزایش می کند تا زمانی که U_{G2K} دو برابر اولین پتانسیل برانگیختگی اتم آرگون شود. الکترون های بین G2 و K به دلیل دومین برخورد غیر الاستیک مجدداً انرژی خود را از دست می دهند و باعث کاهش ولتاژ شتاب دهنده می شود.

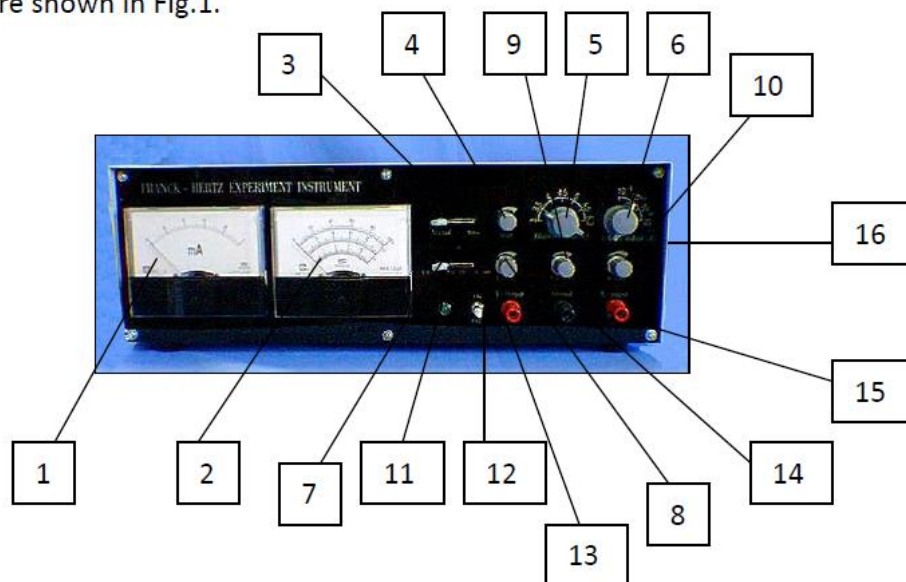


با قراردادن U_{G2K} در محور x های نمودار و I_A در محور y های نمودار می توانیم منحنی ترازهای اتمی گاز آرگون را رسم کنیم. اختلاف پتانسیل بین دو نقطه قله متوالی عبارت است از اولین پتانسیل برانگیختگی اتم آرگون این آزمایش این حقیقت را نشان می دهد که الکترون های اشعه کاتدی در لامپ فرانک هرتز با اتم های آرگون برخورد می کنند و اتم ها را از تراز انرژی پایین به تراز انرژی بالا برانگیخته می کنند. با اندازه گیری اولین انرژی پتانسیل اتم آرگون که یک مقدار ثابت است، این بدان معناست که انرژی جذب شده و انتقال یافته مطلقاً ثابت هستند و نه پیوسته (کوانتیزه هستند)، می توان وجود ترازهای مدل اتمی بوهر را نشان داد. این مسئله در نشان دادن کوانتیزه بودن ترازهای اتمی مدل بوهر کاربرد خوبی دارد. (ترازهای اتمی دارای شعاع های r مشخصی هستند که تابعی از عدد کوانتومی n=0,1,2,... است)

روش انجام آزمایش:

ساختار دستگاه و شکل محفظه فرانک هرتز:

are shown in Fig.1.



1. آمپر متر
- دستگاه
- فرانک هرتز
2. ولت متر دستگاه فرانک هرتز
3. کلید تعیین دستی یا خودکار دستگاه
4. ولوم اسکن دستگاه در حالت خودکار
5. کلید تنظیم ولتاژ فیلامان (رشته نوری) لامپ فرانک هرتز
6. کلید انتخابگر شدت جریان لامپ فرانک هرتز
7. ولتاژ پله ای : اگر این کلید در حالت چپ قرار گیرد تنظیمات ولتاژ توری اول را بر روی ولت متر مشاهده خواهید کرد، اگر این کلید در حالت وسط قرار گیرد تنظیمات ولتاژ کاتود را بر روی ولت متر مشاهده خواهید کرد و اگر این کلید در حالت راست قرار گیرد تنظیمات ولتاژ توری دوم را بر روی ولت متر مشاهده خواهید کرد.

8. دکمه تنظیم (5-1/3) ولت U_{G1K}
9. دکمه تنظیم (15-1/3) ولت U_{G2A}
10. دکمه تنظیم (100-0) ولت U_{G2K}
11. چراغ نشاندهنده ورودی برق دستگاه فرانک هرتز
12. کلید روشن و خاموش دستگاه فرانک هرتز
13. ترمینال خروجی Y
14. زمین (ارت) دستگاه
15. ترمینال خروجی X
16. محفظه محل قرارگیری لامپ آرگون دستگاه آزمایش فرانک هرتز

دستورالعمل کار با دستگاه آزمایش فرانک هرتز

- 1: برق دستگاه را روشن کنید تا چراغ دستگاه روشن شود. گرم شدن لامپ حدود پنج دقیقه طول می کشد.
- 2: کلید دستی – خودکار (Manuel-Auto) را درجهت (Manuel) دستی بچرخانید. دکمه اسکن را خلاف جهت عقربه ساعت بچرخانید. انتخاب ولتاژ فیلامان را به سمت 4 ولت و کلید تقویت کننده شدت جریان را به سمت 8-10 بچرخانید.
- 3: ولتاژ پله ای VOLTAGE STEPPER را روی (5 تا 1/3) ولت قرار دهید، دکمه تنظیم (5-1/3) ولت بچرخانید تا وقتی ولت‌متر عدد 4 ولت را بخواند یعنی $U_{G1K} = 4 \text{ VOLT}$
- 4: ولتاژ پله ای را روی (15 تا 1/3) ولت قرار دهید. دکمه تنظیم (15 تا 1/3) ولت را بچرخانید تا عدد 12 ولت را نشان دهد، یعنی در این حالت $U_{G2A} = 12$ ولت (ولتاژ پس زنی)
- 5: ولتاژ پله ای را روی (100 تا 0) ولت قرار دهید. دکمه تنظیم (100 تا 0) ولت را بچرخانید تا عدد صفر (0) را نشان دهد. (ولتاژ شتابدهنده)
- وقتی مرحله 2 تا 5 به پایان رسید می توانید آزمایش را شروع کنید. در حالت دستی پیشنهاد می کنیم که $U_H = 4$ ولت (ولتاژ فیلامان) را انتخاب کنید و $U_{G1K} = 4$ ولت (ولتاژ بین توری شبکه اول G_1 و کاتد) در حالت خودکار، پیشنهاد می کنیم که $U_H = 3/5$ ولت و $U_{G1K} = 4/5$ و $U_{G2A} = 4/5$ ولت (ولتاژ بین توری شبکه دوم G_2 و آند) باشد. می توانید با پارامتر هایی که روی تیوب آرگون علامت گذاری شده نیز آزمایش را انجام دهید.
- 6: دکمه 0-100 ولت را از ابتدا تا انتها با دست بچرخانید و در همان حین تغییرات آمپر متر (جریان) و ولت‌متر را مشاهده کنید با افزایش U_{G2K} (ولتاژ شتاب دهنده به الکترون)، اعداد آمپر متر را به ترتیب در نقاط اوج و حداقل قرائت کنید. ولتاژ و جریان مربوطه را ثبت کنید.



اعداد قرائت شده جریان را روی محور عمودی قرار دهید و اعداد ولتاژ U_{G2K} را روی محور افقی قرار دهید. منحنی پله پله جذب اتمی آرگون را رسم کنید.

7: کلید دستی – خودکار را به سمت خودکار بچرخانید. کلید محدوده شدت جریان را به سمت 9-10 بچرخانید، Y دستگاه را به Y اسیلوسکوپ و فیش X را به X اسیلوسکوپ متصل کنید. کلید محدوده اسکن اسیلوسکوپ را روی خروجی XY بچرخانید و اسیلوسکوپ را روشن کنید و خط پایه اسکن اسیلوسکوپ را به پایین ترین نقطه صفحه اسیلوسکوپ هدایت کنید کلید اسکن دستگاه را به گونه‌ای بچرخانید تا شکل موج را روی صفحه اسیلوسکوپ ملاحظه کنید. دوباره Y_{gain} و X_{gain} اسیلوسکوپ را تنظیم کنید تا شکل موج را به وضوح ببیند (در وضعیت معتدل) در خلاف جهت عقربه ساعت پتانسیومتر دستگاه را تا انتها بچرخانید تا حداکثر ولتاژ اسکن 50 ولت شود فاصله بین دو نوک متوالی (مربع های شبکه صفحه اسیلوسکوپ) را اندازه گرفته و آنرا در 5 ولت هر متر مربع (شبکه اسیلوسکوپ) ضرب کنید، این مقدار پتانسیل اولین برانگیختگی تراز اتم آرگون خواهد بود.

ملاحظات:

در طول آزمایش (به روش دستی) وقتی ولتاژ بالای 60 ولت است به عقربه جریان خروجی دقت کنید. اگر عدد آمپر متر ناگهان بالا رفت ولتاژ را یکبار کم کنید تا لامپ صدمه نبیند.

اگر می خواهید مقادیر عددی U_H , U_{G2K} , U_{G1K} را در طول عملیات تغییر دهید، لطفا ابتدا دکمه (0-100) ولت را در جهت خلاف عقربه ساعت تا به آخر بچرخانید و سپس تغییرات را ایجاد کنید.

ولتاژ فیلامان این ابزار 3 الی 6 و نیم ولت است. می توانید با فیلامان های با ولتاژ مختلف آزمایش را انجام دهید. اگر در بالای شکل موج جابجایی مورب (مایل) روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده شد، این به آن معنی است که قدرت جریان خروجی آند زیاده از حد است که باعث تخریب آمپلی فایر دستگاه می شود. در این حالت باید ولتاژ فیلامان را کاهش دهید.

سوالات:

- (1) به نظر شما چرا این آزمایش را با اتم هیدروژن انجام ندادیم؟
- (2) اگر آزمایش را با اتم جیوه انجام دهیم چه تغییراتی باید در انجام آزمایش ایجاد کنیم و چرا؟



آزمایش پراش الکترون

هدف آزمایش:

✓ الکترون‌های شتابدار دارای طول موج λ هستند

✓ اندازه‌گیری ثوابت شبکه گرافیت

در آزمایش‌های مختلف با جنبه‌های متفاوت نور مواجه می‌شوید. مثلاً در آزمایش پراش با جنبه موجی نور مواجهه هستید ولی در آزمایش فوتوالکتریک با جنبه ذره‌ای آن مواجهه بودید. در حالت کلی، در آزمایش‌هایی که با انتشار نور سروکار داریم مانند تداخل‌سنجی و یا پراش از جنبه‌های موجی جهت توصیف پدیده استفاده می‌کنیم ولی در آزمایش‌هایی که با جذب نور توسط ماده و یا برهمکنش نور با ماده مواجهیم از توصیف ذره‌ای برای نور استفاده کنید مثل آزمایش فوتوالکتریک.

چنانچه می‌دانیم، مطابق رابطه دوپروی، ذرات مادی نیز می‌توانند اثرات موجی از خود نشان دهند. به عنوان مثال در صورتی که یک باریکه از ذرات مادی مانند الکترون‌ها از شکافی که دارای ابعادی از مرتبه طول موج است عبور کنند می‌توانند الگوی پراش ایجاد نمایند. در این صورت رابطه زیر برقرار خواهد بود.

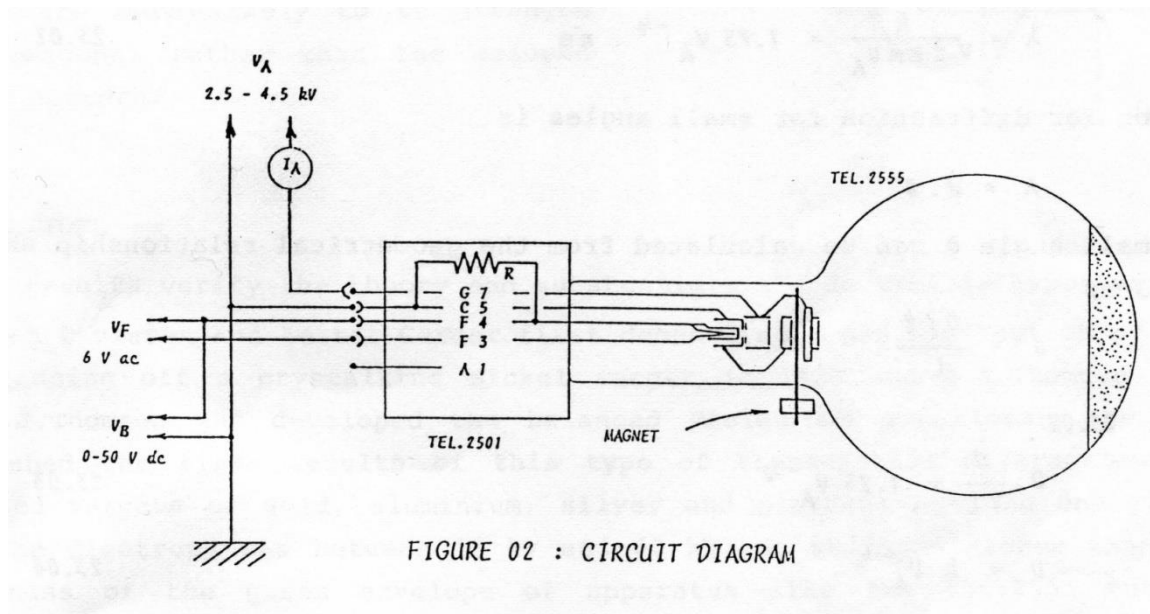
$$n\lambda = 2d \sin \alpha$$

که d فواصل توری پراش، n مرتبه پراش و زاویه α نقاط هندسی را در فضا مشخص می‌سازد که تداخل سازنده در آنها رخ داده است. به ازای α های کوچک برای پراش مرتبه اول ($n=1$) داریم:

$$\lambda = d \cdot \alpha \quad (1)$$

از آنجا که مسافت پویش آزاد میانگین برای الکترون‌ها در دما و فشار محیط بسیار کوتاه است، لذا الکترون‌ها به سرعت در محیط جذب می‌شوند. بنابراین در این آزمایش الکترون‌ها در یک باریکه داخل حباب شیشه‌ای با فشار پایین مطابق با شکل زیر به وسیله ولتاژ U شتاب می‌گیرند. تحت این شرایط از قانون بقای انرژی داریم:

$$e.U = \frac{p^2}{2m_0} \quad (2)$$



شکل (1)

از آنجا که در این آزمایش ولتاژ اعمال شده در حدود 5Kev است ، لذا نسبت انرژی جنبشی به انرژی در حال سکون

$$m_0 = 511 \frac{kev}{c^2} \text{ بوده و روابط کلاسیکی برای انرژی جنبشی صادق است } \frac{1}{100}$$

با در نظر گرفتن رابطه دوبروی $\lambda = \frac{h}{p}$ و رابطه (2) طول موج الکترون‌هایی که با ولتاژ U شتاب می‌گیرند از رابطه (3) حاصل می‌شود:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 eU}} = 1.23U^{-1/2} (nm) \quad (3)$$

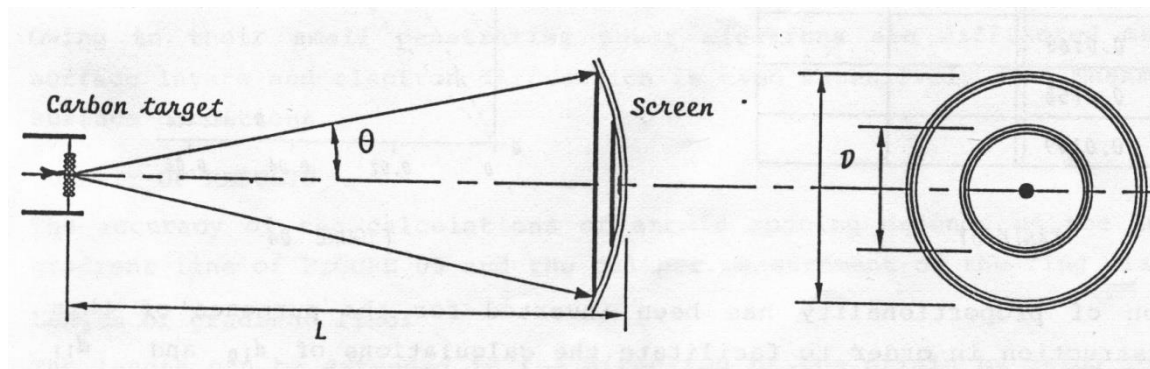
با قرار دادن مقدار λ از رابطه (3) در رابطه (1) خواهیم داشت:

$$\frac{h}{\sqrt{2m_0 eU}} = d \cdot \alpha \quad (1)$$

که مقدار زاویه α را می‌توان با اندازه‌گیری مقدار D مطابق با شکل زیر به دست آورد.

$$\theta = 2\alpha$$

$$\tan \alpha \cong \alpha = \frac{D}{4L} \quad (2)$$



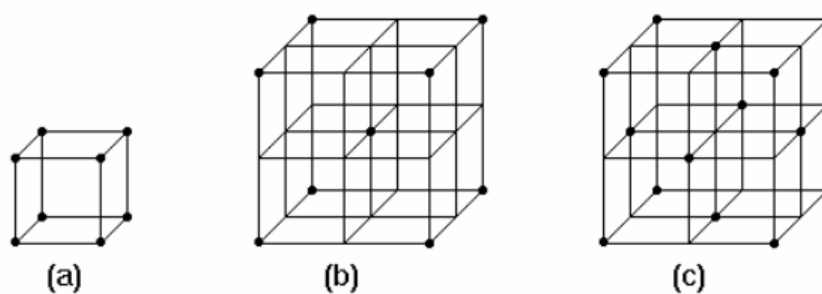
شکل (2)

با قرار دادن مقدار α در رابطه (4) می توان پهنای شکاف را برای حالت $n=1$ محاسبه نمود.

$$D = kU^{-1/2} \quad (3)$$

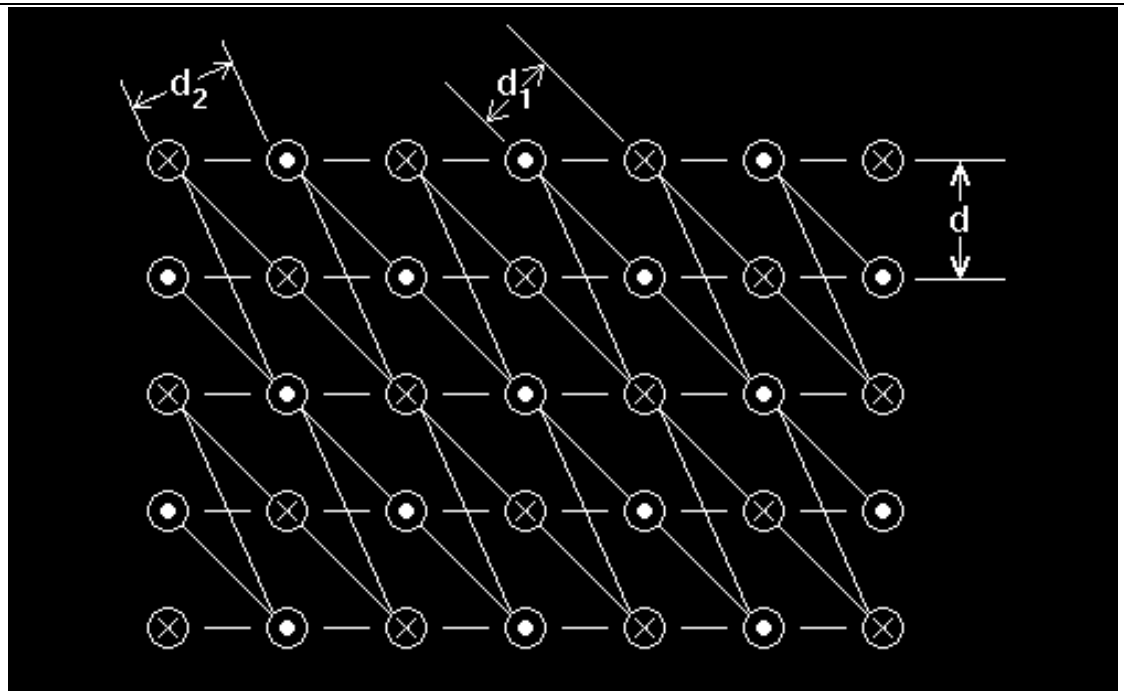
ممکن است این سوال پیش آید که چرا این آزمایش را نیز با یک توری پراش آزمایشگاهی انجام نمی‌دهیم؟ برای ارائه پاسخ باید بدانیم که فاصله خطوط توری بهترین توری‌هایی که تا کنون ساخته شده‌اند حدود چند صد نانومتر است ولی رابطه (3) نشان می‌دهد حتی اگر ولتاژ شتاب گرفتن الکترون‌ها را 1 ولت در نظر بگیریم که مقدار بسیار ناچیزی است، طول موج آن‌ها 1.2nm خواهد بود! که طبق رابطه (1) منجر به زاویه تفرق بسیار ناچیزی می‌گردد که در آزمایشگاه قابل اندازه‌گیری نیست.

به همین دلیل از ساختارهای بلوری که فاصله بین اتمها در آن‌ها از ابعاد آنگستروم است جهت این آزمایش استفاده می‌کنیم. در شکل (2) سه نمونه از شکل‌گیری اتمها در ساختار مکعبی نمایش داده شده است. شکل (a): ساختار مکعبی ساده است که اتمها در چهار راس مکعب قرار گرفته‌اند. شکل (b): وقتی یک اتم در مرکز ساختار مکعب ساده قرار گیرد. شکل (c): وقتی یک شش اتم در مراکز سطوح جانبی ساختار مکعب ساده قرار می‌گیرند.

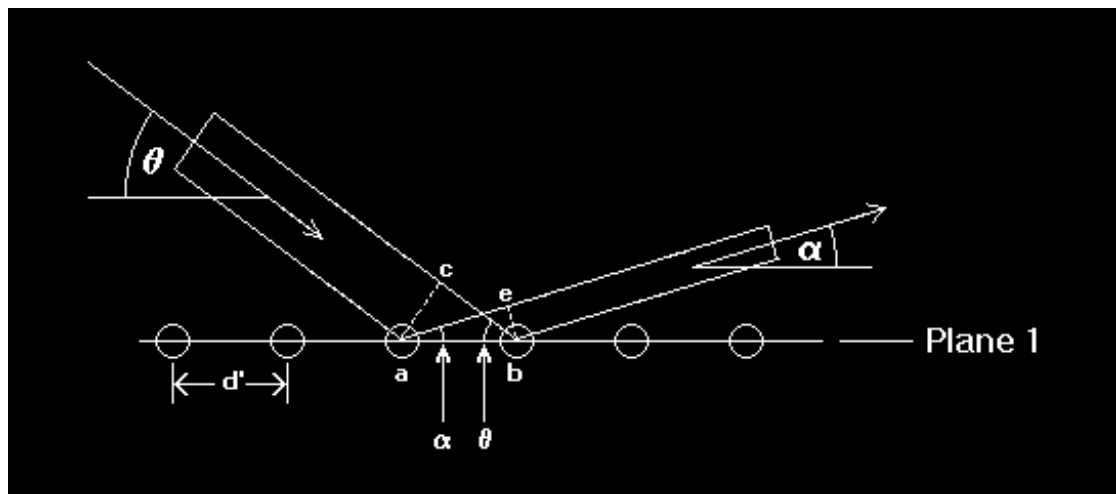


شکل (2): (a): ساختار مکعبی ساده (b): مکعبی مرکز پر (c): ساختار مکعبی صفحه پر

در شکل (3) ساختار مکعبی صفحه پر از نمایی دیگر نشان داده شده است. سه فاصله میان صفحات موازی در شبکه قابل اندازه‌گیری است. واضح است که به دلیل ساختار دوره‌ای شبکه تعداد مشابه این صفحات در شبکه بسیارند.



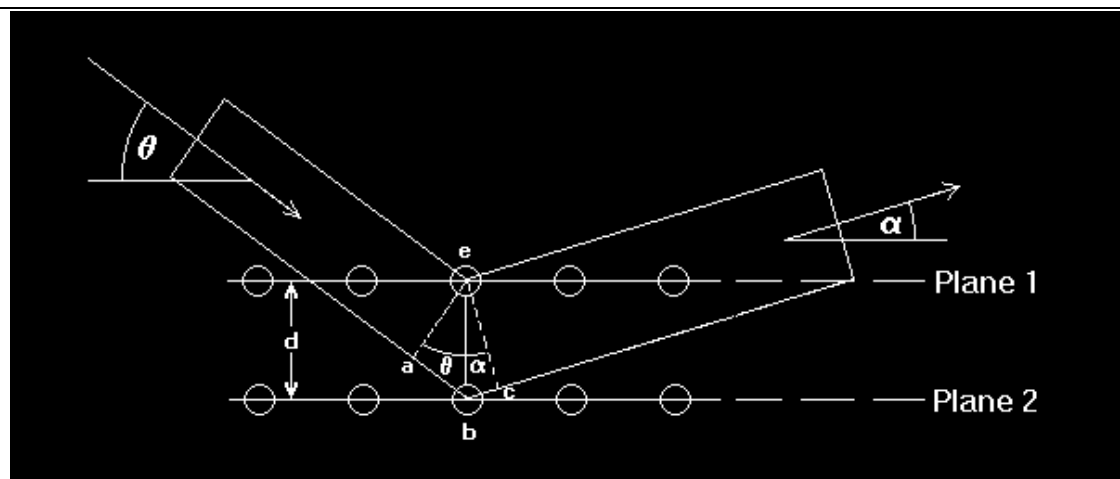
شکل (3): صفحات موازی در بلور مرکز پر



شکل (4): پراکندگی از یک صفحه اتمی

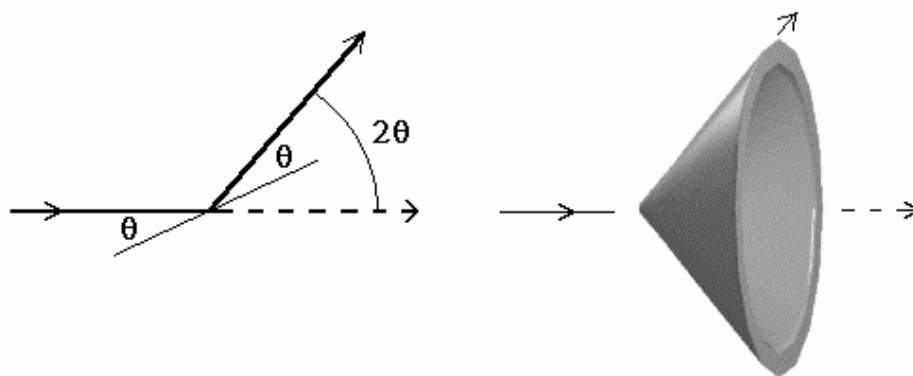
شکل (4) را در نظر بگیرید، که فاصله بین اتمها در آن مقدار مشخص d' را دارد. موج ورودی زاویه θ و موج پراکنده شده زاویه α را با سطح اتمی می سازند. واضح است که اختلاف راهی که از پراکندگی موج حاصل از دو اتم مجاور برابر مقدار $\overline{ae} - \overline{cb} = d' \cos \alpha - d' \cos \theta = m\lambda$ است. اگر این اختلاف راه مضرب صحیحی از λ باشد، یا دو موج همفاز باشند، تداخل سازنده بین آنها رخ می دهد.

حالت دیگری که ممکن است رخ دهد این است که موج از دو صفحه پشت سر هم پراکنده شود شکل (5)



شکل (5): پراکندگی از دو صفحه مختلف

در این صورت اختلاف راه دو موج پراکنده شده از صفحه بالایی و پایینی
 است. دو رابطه اخیر فقط در حالتی به طور همزمان برآورده می‌شوند
 که $\alpha = \theta$ باشد. در این حالت $m = 0$ و رابطه براگ به صورت $n\lambda = 2d \sin \theta$ حاصل می‌شود.
 شکل (6) باریکه الکترونی را نشان می‌دهد که با طول موج λ و زاویه θ بر یک سطح اتمی با فاصله سطوح d
 فرود می‌آیند و با زاویه $\gamma = 2\theta$ پراکنده می‌شوند.

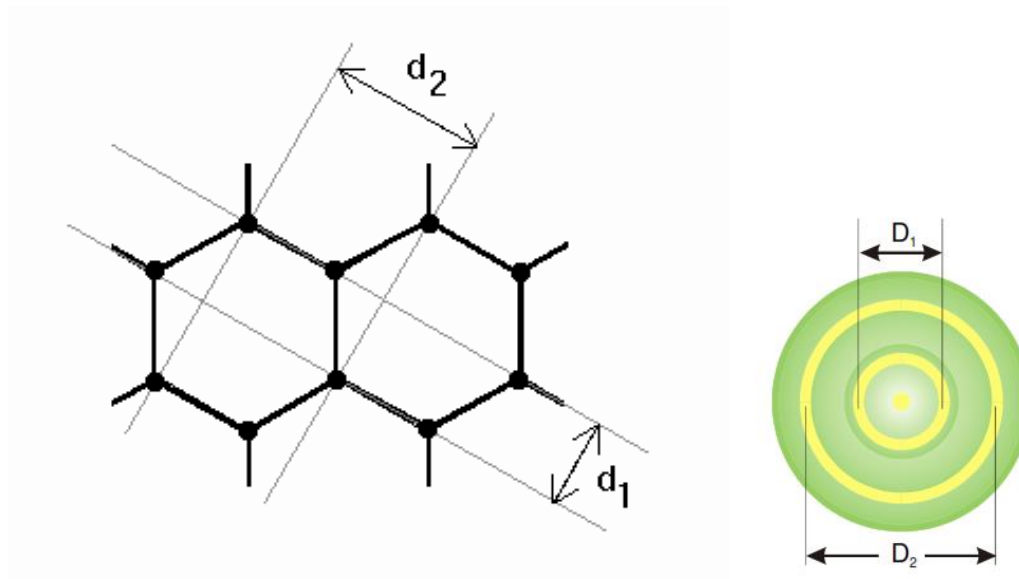


شکل (6): در این شکل نحوه تشکیل مخروط پراکنده شده از برخورد با صفحه گرافیت نمایان است. در صورتی که از مقابل به مقطع
 مخروط نگاه کنید دلیل تشکیل حلقه‌های دایروی در آزمایش پراش الکترون را خواهید فهمید.

ساختار اتمها در شبکه بلوری کربن به صورت هگزاگونالی است، شکل (7). دو فاصله اساسی و مهم در این شبکه که
 در شکل نمایش داده شده است دارای مقادیر زیر می‌باشند:

$$d_1 = 0.123nm$$

$$d_2 = 0.213nm$$



شکل (7) : فواصل اتمی گرافیت منجر به تشکیل دو حلقه نورانی بر سطح فلورسان شیشه می شود.

روش انجام آزمایش:

در حالی که از خاموش بودن منبع تغذیه ها مطمئن هستید ولوم های آن ها را به سمت چپ کاملاً بچرخانید.

منبع تغذیه DC (فیلمان) را روی 3 ولت تنظیم کنید.

انتشار گرمایونی بعد از حدود 3 دقیقه آغاز می شود.

ولوم منبع تغذیه ولتاژ بالا را به آرامی افزایش دهید تا به مقدار 2.5 KV برسد (دقت کنید که واحد روی نمایشگر بر اساس کیلو ولت است). در این حالت الگوی پراش به صورت دو دایره هم مرکز مشاهده می گردد. از آنجا که در این آزمایش از یک لایه کربن به عنوان توری پراش استفاده شده است، لذا دو ثابت شبکه d_1 و d_2 وجود دارد که منجر به وجود آمدن الگوی پراش بصورت دو دایره هم مرکز می گردد.

به کمک خط کش مقدار D را اندازه بگیرید و مقدار آن را برای دایره بیرونی و داخلی یادداشت نمایید.

ولتاژ منبع تغذیه ولتاژ بالا را 0.5 ولت افزایش داده و مرحله 5 را تکرار نمایید. این کار را تا رسیدن به مقدار 4.5 KV ادامه دهید و جدول زیر را تکمیل نمایید.

پس از تکمیل جدول، مقدار D را نسبت به $U^{-1/2}$ ترسیم نمایید و از روی شیب خط با دانستن مقدار $L=13 \text{ cm}$ ، مقدار d_1 و d_2 را بدست آورید.

نسبت d_1 به d_2 را محاسبه نموده و با در نظر گرفتن لایه کربن به صورت شبکه شش ضلعی مقدار آن را با مقدار تئوری مقایسه نمایید.

ولتاژ آند (KV)	شعاع دایره بزرگ (mm)	شعاع دایره کوچک (mm)	طول موج الکترون ($^{\circ}A$)	d_1 فاصله براگ دایره بزرگ ($^{\circ}A$)	d_2 فاصله براگ دایره کوچک ($^{\circ}A$)

سوالات:

1. چرا پراش به صورت دایره ای دیده می شود؟
2. نقطه نور مرکزی در حین اجرای آزمایش ناشی از چیست؟
3. چرا ماهیت موجی اجسام در جهان فیزیکی قابل مشاهده نیست؟
4. چرا نمونه گرافیت باید نازک باشد؟ اگر بلور گرافیت نازک نباشد فکر می کنید چه اتفاقی می افتاد؟
5. در میکروسکوپ های الکترونی برای مشاهده ذرات ریز از پدیده پراش استفاده می شود. چگونه این عمل انجام می گیرد؟
6. همانطور که از اپتیک کلاسیکی می دانیم جهت رویت یک جسم، طول موجی که به آن جسم می تابانیم حداقل باید دو برابر ابعاد جسم باشد. (چرا؟) طول موج نور اپتیکی حداقل 380 نانومتر است. پس چگونه می توان از اجسام حدود چند نانومتر تصویر تهیه کرد؟ میکروسکوپ های مختلف را بررسی کرده و یک نتیجه کلی بگیرید.



آزمایش تابش جسم سیاه

هدف آزمایش :

تحقیق قانون استفن- بولتزمن و قوانین لامبرت در مورد تابش جسم سیاه.

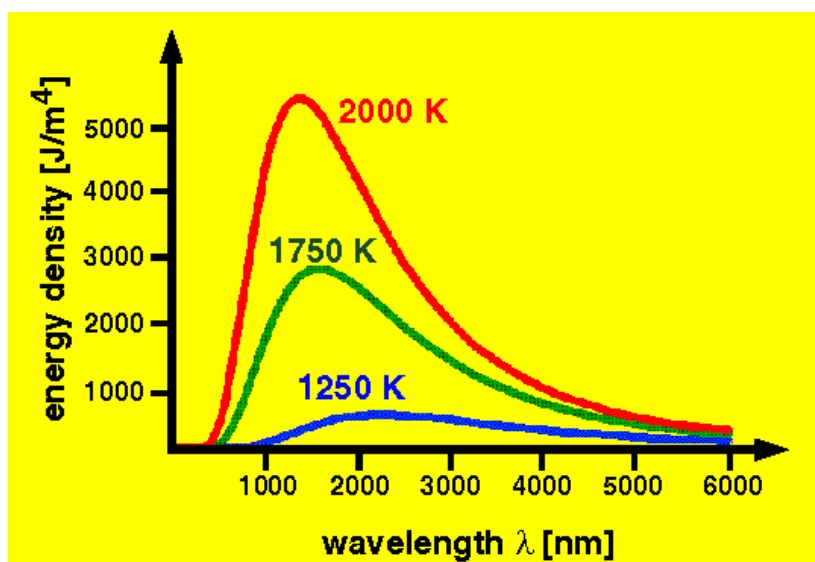
وسایل آزمایش:

کوره الکتریکی با پایه، دیمرو و دماسنج دیجیتالی، میزچه اپتیکی 2 عدد، دیافراگم سرد کننده، دیافراگم متغیر، ترموپیل، گیره مدرج، پایه شکل بزرگ 2 عدد، گیره چندمنظوره 4 عدد، میکرو ولتметр.

ملاحظات نظری :

جسم سیاه به جسمی گفته می شود که جذب آن کامل بوده و بتواند کلیه تابش های الکترو مغناطیسی با هر فرکانسی را بطور کامل جذب نماید. همچنین این چنین جسمی قادر است در اثر گرم شدن تابش های الکترو مغناطیسی با همه فرکانس ها را تابش نماید. البته طبق قانون جابجائی وین بیشینه توان تابشی دما تغییر می کند و هر چه دما بالاتر رود این بیشینه به سمت فرکانس های بالاتر (طول موجهای کوتاهتر) میل می کند بطوری که برای بیشینه توان تابشی می توان نوشت:

$$\lambda_{Max} T = C \quad (1)$$



شکل (1): ارتباط دما و فرکانس. هر چه دما بالاتر رود این بیشینه به سمت فرکانس های بالاتر (طول موجهای کوتاهتر) میل می کند

در رابطه (1)، T دمای مطلق جسم λ_{max} طول موجی است که در آن بیشینه توان تابشی حاصل می شود. C مقدار ثابتی است که مقدار آن $C = 2.9 \times 10^{-3} mk$ است. آزمایشات انجام شده بر روی جسم سیاه نشان می داد

که توان کل تابشی مربوط به کلیه فرکانس ها از واحد سطح آن جسم، با توان چهارم دمای مطلق جسم متناسب است یعنی:

$$R(T) = \sigma T^4 \quad (2) \quad (\text{قانون استفان})$$

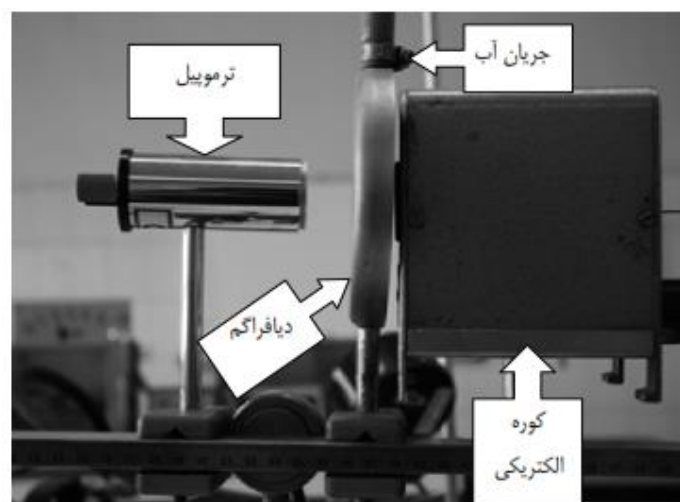
در رابطه اخیر، σ ثابت استفان- بولتزمن نامیده می شود و مقدار آن $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ است.

براساس قانون لامبرت شارتابشی که بطور عمودی از سطح معینی عبور می کند باعکس مجذور فاصله آن سطح تا

منبع تابش متناسب است یعنی اگر سطح s عمود بر امتداد تابش و d فاصله آن از منبع باشد: $\varphi(T) \propto \frac{1}{d^2}$

خواهد بود. همچنین شار عبوری از سطح s' که با سطح s فوق زاویه θ می سازد، متناسب با کسینوس این زاویه باشد یعنی $\varphi(T) \propto \cos \theta$ به عبارت دیگر اگر θ زاویه بین امتداد عمود بر سطح جسم سیاه و امتداد گیرنده انرژی باشد، میزان انرژی دریافتی توسط گیرنده با کسینوس این زاویه متناسب خواهد بود که در این آزمایش گیرنده انرژی یک ترموپیل است.

شکل (2) کوره الکتریکی، ترموپیل و دیافراگم را نشان می دهد که بر روی ریل اپتیکی سوار شده اند. کوره الکتریکی حاوی استوانه گرافیتی است که به عنوان جسم سیاه از آن یاد می کنیم و جهت ثبت دمای درون آن یک ترموکوپل نیکل-کروم را از انتهای کوره به انتهای جسم سیاه چسبانده و به وسیله یک ترمومتر دیجیتال، دما را در هر لحظه ثبت می نماییم. بخشی از تشعشعات منتشر شده از دهانه کوره پس از عبور از دیافراگم وارد ترموپیل می شود. ترموپیل دارای ساختار مخروطی شکل است و بدنه فلزی آن قابلیت هدایت نور مادون قرمز را دارد. به وسیله یک درب شیشه ای از ورود نورهای اضافی به داخل آن جلوگیری می کنیم. در انتهای ترموپیل 16 عدد ترموکوپل ظریف به صورت سری با هم قرار دارند. به همین دلیل از خودکار هر هر جسم دیگری برای اطمینان از هم تراز شدن سیستم استفاده نکنید چرا که باعث پاره شدن ترموکوپل ها می شود.



شکل (2): اجزای آزمایش

ولتاژ حاصله از ترموپیل توسط میکروولت‌متر قابل اندازه‌گیری است. توان رسیده به ترموپیل طبق کاتالوگ دستگاه

$$W = \frac{V}{0.16}$$

برابر است با:

انرژی گسیل شده در واحد زمان در واحد سطح جسم و در دمای T ، R_T را نیز می‌توان از رابطه زیر حساب کرد:

$$R_T = \sigma(T^4 - T_0^4) = \frac{4\pi r^2}{2} \frac{1}{\pi(R_1/2)^2} \times \frac{W}{\pi(R_2/2)^2} \quad (3)$$

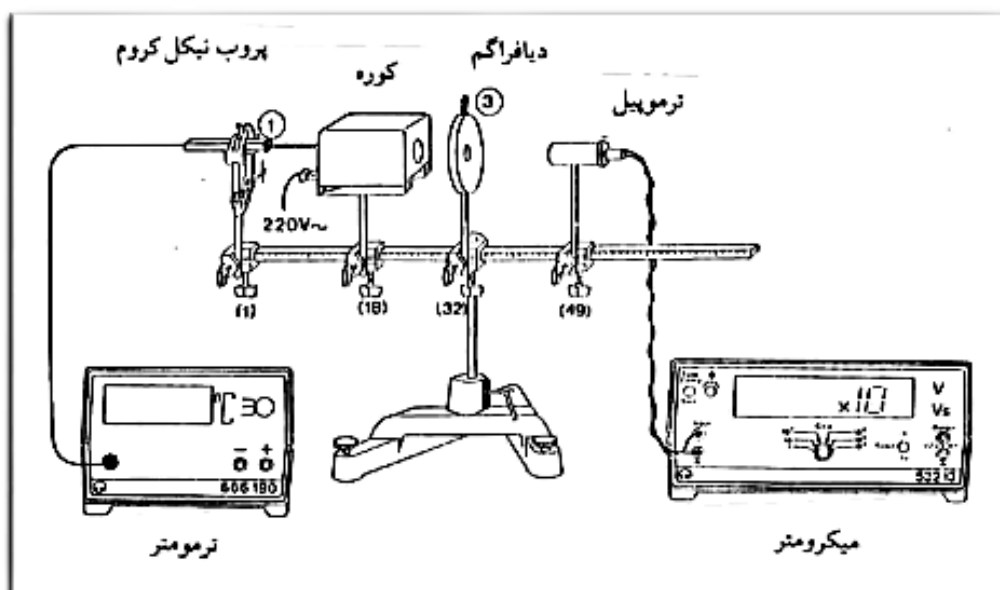
در این رابطه، r فاصله کوره تا ترموپیل

R_1 و R_2 به ترتیب قطر ترموپیل و دیافراگم هستند که مقادیر 2.5 سانتی متر و 1.6 سانتی متر را دارند.

پیش از هر بار اندازه‌گیری حتما صفر میکروولت‌متر را تنظیم کنید

آزمایش 1 : تحقق قانون استفن – بولتزمن

پایه کوره الکتریکی را بکمک گیره چند منظوره به میزچه اپتیکی ببندید و کوره را روی پایه سوار کنید. در فاصله ای حدود $d=10\text{cm}$ از کوره دیافراگم متغییر را به کمک گیره چند منظوره به میزچه ببندید و در فاصله d از دیافراگم ترموپیل را توسط گیره چند منظوره طوری به میزچه ببندید که اولاً مرکز سوراخ کوره، مرکز دیافراگم و مرکز ترموپیل در یک امتداد و یک ارتفاع از میزچه قرار گیرد. (برای اطمینان از هم محور شدن این سه عامل می‌توانید از سوراخ پشت کوره نظاره نموده و تنظیم‌های لازم را انجام دهید) ثانیاً فاصله لبه ترموپیل از دیافراگم متغییر با فاصله لبه کوره از دیافراگم مساوی d باشد. (به شکل نگاه کنید)



شکل ۴. طرز اتصال دستگاه‌ها



جسم سیاه را درون حفره کوره طوری قرار دهید که طرف خالی آن به سمت بیرون باشد .

در انتهای جسم سیاه سوراخ کوچکی وجود دارد که محل قرار گرفتن ترموکوپل یا دماسنج است.

این سوراخ در مقابل سوراخ پشت کوره قرار می گیرد تا بتوان ترموکوپل را از پشت کوره به آن وارد و دمای جسم سیاه را اندازه گیری نمود.

دیافراگم سرد کننده را به کمک گیره چند منظوره دیگری درست جلو کوره روی میزچه اپتیکی نصب کنید بطوریکه مرکز سوراخ آن بر مرکز سوراخ حفره جسم سیاه منطبق باشد. یک لوله لاستیکی را که به شیر آب بسته اید به لوله پائینی این دیافراگم و لوله لاستیکی دیگری را از لوله فوقانی دیافراگم به فاضلاب (درون کاسه دستشوئی) هدایت نمایید. (در صورتیکه از شیر آب دور هستید می توانید یک منبع 20 لیتری را در ارتفاعی بالاتر از میز آزمایشگاه نصب و سطلی را در زیر میز آزمایشگاه قرار دهید تا از منبع فوق آب وارد دیافراگم شده و آب خروجی آن به سطل بریزد) نقش دیافراگم سرد کننده این است که از تابش های اضافی بجز حفره جسم سیاه و فقط به اندازه دهانه دیافراگم جلوگیری نماید.

ترموکوپل را در سوراخ انتهای جسم سیاه قرار دهید و سردیگر آن را به ورودی آن در جلو منبع تغذیه کوره متصل نمایید. سیم های برق کوره را به خروجی دیمر که در پشت منبع تغذیه تعبیه شده است وصل کنید. منبع تغذیه را به برق شهر وصل و کلید آن را بزنید تا روشن شود.

در قسمت جلویی منبع تغذیه کلیدی وجود دارد که می توان در وضعیت Volt و یا Temp قرار گیرد که در حالت اول ولتاژ اعمال شده به کوره و در وضعیت دوم دمای جسم سیاه بر روی نمایش دهنده دیجیتال آن قرائت می شود، با توجه به اینکه ترموکوپل قادر است اختلاف دمای کوره با دمای محیط را برهد، در پشت منبع تغذیه سوراخ کوچکی قرار داده شده تا بتوان به کمک یک پیچ گوشتی ظریف دمای محیط را برای آن تنظیم تا قرائت دستگاه تصحیح و دمای جسم سیاه بر حسب درجه سلسیوس نسبت به دمای صفر قرائت شود، سوراخ محل این تنظیم با Temp Adj مشخص شده است.

کلید را در وضعیت Volt قرار داده و به کمک پیچ تنظیم دیمر ولتاژ کوره را به 180 ولت ببرید آنگاه کلید را در وضعیت Temp قرار داده و شاهد بالا رفتن دما باشید. در دهانه ورودی ترموپیل یک دریچه شیشه ای نصب شده است که قابل برداشتن می باشد. این دریچه ضمن اینکه مانع ورود اشعه مادون قرمز به درون ترموپیل می شود، از ورود گرد و غبار به داخل آن نیز ممانعت می کند. خروجی ترموپیل را به کمک سیم رابط مربوطه که یک طرف آن مجهز به اتصال BNC است به ورودی میکرو ولتمتر ، و میکرو ولتمتر را به برق شهر متصل و روشن نمایید. سلکتور میکرو ولتمتر را در بیشترین حساسیت قرار داده و به کمک پیچ Zero Adj آنرا صفر کنید.

قطر دهانه دیافراگم متغیر را یک سانتیمتر انتخاب نموده و ضمن اینکه آب از درون دیافراگم سرد کننده می گذرد دمای کوره را کنترل نمایید تا وقتی که به دمای حدود 350 درجه سلسیوس برسد در این موقع ولتاژ کوره را به صفر برسانید تا از ازدیاد دمای آن جلوگیری شود.



فیزیک جدید.....دانشگاه قم

دما قدری بالاتر رفته و پس از مدتی به آهستگی شروع به کاهش خواهد نمود، دماهای مناسبی را مد نظر داشته باشید بطوریکه پس از جمع کردن آن با دمای 273 عدد مناسبی بدست آید، مثلا 377 که خواهیم داشت: $T = 377 + 273 = 650K$

دراین لحظه دریچه شیشه ای ترموپیل را بردارید تا انرژی حرارتی دریافت و میکرو ولتметр ولتاژ خروجی آن را نمایش دهد.

وقتی که میکرو ولتметр تقریبا ثابت باشد، ولتاژ را یادداشت و بلافاصله دریچه شیشه ای را در محل خود قرار دهید تا گرمای اضافی موجب گرم شدن ترموپیل و باعث ایجاد خطا نگردد. بازاء هر 5 یا 10 درجه کاهش دما این کار تکرار و نتایج حاصله را در جدولی مطابق جدول ذیل درج نمائید.

دمای کوره °C	200	210	220	230	240	250	260	270
دمای کوره به کلوین								
ولتاژ ترموپیل								
توان دریافت شده $W (j / s)$								
دمای کوره °C	280	290	300	310	320	330	340	350
دمای کوره به کلوین								
ولتاژ ترموپیل								
توان دریافت شده $W (j / s)$								
دمای اتاق T_0								
فاصله دیافراگم از ترموپیل								

منحنی تغییرات R_T بر حسب T^4 را رسم کنید و ثابت استفان بولتزمن را بدست آورید و با مقدار تئوری آن مقایسه کنید.

آزمایش 2: بررسی تغییر شدت تابش با عکس مجذور فاصله.

دیافراگم متغیر را از میزچه اپتیکی باز کنید و ترموپیل را در فاصله حدود $d=10cm$ از دیافراگم سرد کننده قرار دهید. ولتاژ کوره الکتریکی را طوری تنظیم کنید که دمای کوره در حدود 350 درجه سلیسیوس ثابت بماند (برای رسیدن به دمای ثابت بایستی قدری منتظر بمانید لذا بمنظور کاهش خطا ضمن اینکه دریچه شیشه ای را روی ترموپیل نصب نموده اید با یک قطعه مقوا و یا هر مانع دیگری از رسیدن پرتوهای حرارتی به آن جلوگیری نمائید .



زیرا گرم شدن تدریجی شیشه و انتقال گرما به سطح داخلی شیشه دستگاه را با خطا مواجه می سازد) پس از آن که دما ثابت شد دریچه شیشه ای را برداشته و ولتاژ میکرو ولتمتر را قرائت و یادداشت نمائید. حال فاصله ترموپیل را از کوره افزایش داده مجدداً میکرو ولتمتر را قرائت و یادداشت کنید (متذکر می شود که فقط در وضعیت قرائت میکرو ولتمتر دریچه شیشه ای را از ترموپیل جدا کنید و در سایر مواقع آنرا در جلو ترموپیل نصب نمائید).

مقادیر فواصل و ولتاژ های میکرو ولتمتر را در جدولی مطابق جدول زیر وارد و منحنی تغییرات ولتاژ میکرو ولتمتر (که با توان دریافتی از کوره متناسب است) را بر حسب عکس مجذور فاصله دهانه ترموپیل از کوره ترسیم کنید و خطی بودن آنرا ملاحظه نمائید.

r فاصله کوره تا ترموپیل							
V ولتاژ ترموپیل							
توان کل دریافت شده توسط ترموپیل W							

سوالات

1. چرا از جریان آب برای خنک کردن دستگاه استفاده می کنیم؟
2. آیا امتداد منحنی آزمایش 2 از مبدا مختصات می گذرد؟ دلیل آن چیست؟
3. رابطه (3) را با جزئیات بدست آورید.



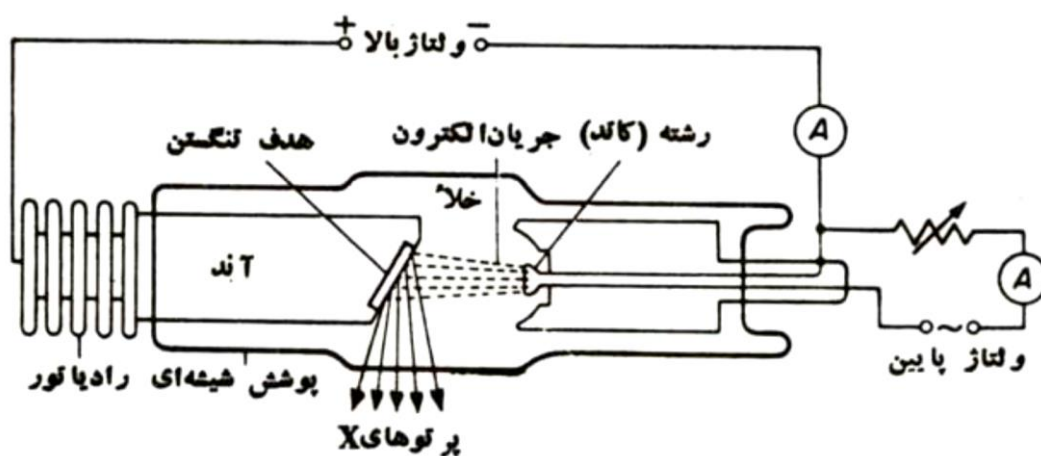
میرایی اشعه X

اهداف آزمایش:

- ✓ بررسی میرایی اشعه X به صورت تابعی از ضخامت ماده جذب کننده
- ✓ بررسی میرایی اشعه X به صورت تابعی از جنس ماده جذب کننده
- ✓ تحقیق قانون میرایی لامبر

ملاحظات نظری:

پرتوهای X در اثر کند شدن الکترون‌ها در هدف‌های فلزی یا در اثر برانگیختگی الکترون‌های مغز اتم‌های هدف به وجود می‌آیند. از فرآیند اول یک بیناب پیوسته و از فرآیند دوم خطوط تیز حاصل می‌شود. با برخورد الکترون‌های پر انرژی‌تر به الکترون‌های مربوط به اتم‌های مغزی آند، برخی از این الکترون‌ها از جای خودشان خارج می‌شوند یا به عبارتی اتم برانگیخته می‌شود و یک حفره ایجاد می‌گردد. با توجه به این که اتم‌ها تمایل دارند به حالت پایدار و کم‌ترین انرژی برسند، الکترون‌هایی از لایه‌های بالاتر اتمی به این جای خالی مهاجرت کرده و جای آن را پر می‌کنند. برای انجام این عمل الکترون‌های لایه‌های بالاتر که انرژی بیشتری دارند، بایستی بخشی از انرژی خود را از دست بدهند تا به سطح انرژی لایه جدید رسیده و پایدار شوند که این انرژی بصورت اشعه ایکس منتشر می‌گردد.



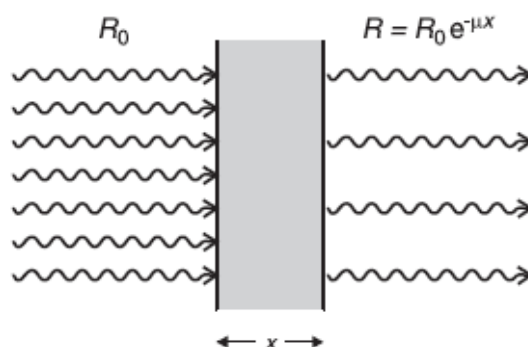
شکل 1: لوله مولد اشعه X با کاتد ملتهب

منظور از میرایی اشعه ایکس، کاهش شدت آن در هنگام عبور از ماده است. مهمترین دلیل میرایی دو عامل پراش و جذب می‌باشد.



جذب و میرایی دو پدیده مختلف فیزیکی هستند. ماده عبور دهنده نور غالباً جاذب نامیده می شود ولی بهتر است اصطلاح میرا کننده را برای آن به کار برد.

پراکندگی اشعه x توسط یک اتم ماده میرا کننده باعث می شود که بخشی از تابش مسیر خود را تغییر دهد و بنابراین شدت اشعه در مسیر اصلی کاهش می یابد. در صورتی که این پراکندگی غیر الاستیک یا غیر کشسان باشد باعث کاهش انرژی و تغییر طول موج می گردد.



شکل 2: میرایی اشعه x

در پدیده جذب ، تمام انرژی اشعه ایکس به اتم ها و یا مولکولهای ماده (به صورت انرژی یونیزاسیون و یا انرژی برانگیختگی) انتقال می یابد.

اگر R_0 شمارش اولیه و R شمارش بعد از عبور از ماده میرا کننده باشد ، ضریب عبور به صورت $T = \frac{R}{R_0}$ است.

عبور به جنس میرا کننده بستگی دارد. اگر فرض کنیم که خواص اشعه فرودی در ضمن میرایی بدون تغییر بماند ، افزایش ضخامت به اندازه dx باعث کاهش عبور به اندازه dT خواهد شد یعنی کاهش نسبی عبور متناسب است با افزایش ضخامت:

$$-\frac{dT}{T} = \mu \cdot dx$$

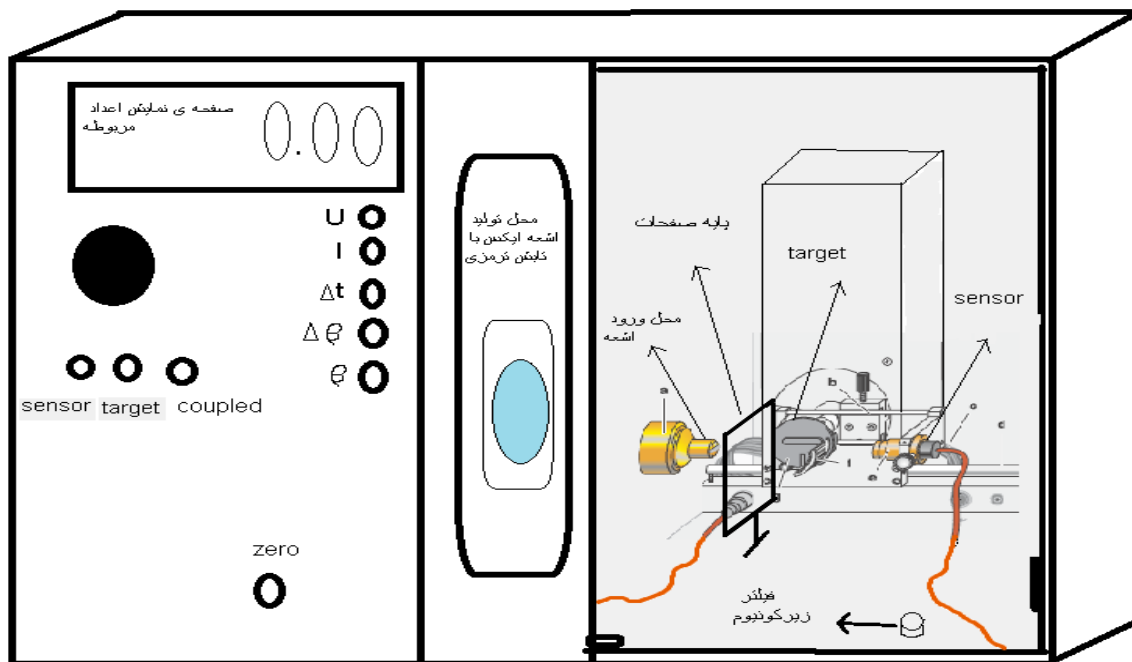
ضریب تناسب μ ، ضریب میرایی خطی است. چنانچه عبور در $X=0$ برابر $T_0=1$ باشد انتگرال فرمول فوق به نتیجه زیر منجر می شود (T_0 ، در صد عبور (ورود) در $X=0$)

$$T(x) = T_0 e^{-\mu \cdot x}$$

$$T = e^{-\mu \cdot x}$$

$$\ln T = -\mu \cdot x$$

این رابطه به قانون میرایی لامبر معروف است که هدف این آزمایش بررسی آن می باشد. همچنین ثابت می شود که میرایی به جنس ماده میرا کننده و طول موج اشعه ایکس نیز وابسته است.



شکل (3): دستگاه / اشعه X

انجام آزمایش :

الف (میرایی به عنوان تابعی از ضخامت جاذب:

- بدون فیلتر زیرکونیوم:

1. تنظیمات زیر را روی دستگاه اعمال کنید

$$U=21 \text{ KV}$$

$$I=0.7 \text{ mA}$$

$$\beta=0.1^\circ$$

$$\Delta t=1 \text{ s}$$

2. کلید TARGET را فشار دهید

3. β را با استفاده از کلید ADJUST در موقعیت پایین 2.5° و بالای 3.4° تنظیم کنید، (با این عمل شما 10 بار آزمایش را انجام خواهید داد). با فشار کلید اسکن اندازه گیری را آغاز کنید و نتایج را با استفاده از نرم افزار اشعه ایکس ثبت کنید و از آن‌ها میانگین گیری نمایید. میانگین سرعت ده بار شمارش (R) را برای نمونه های مختلف در جدول زیر درج کنید.

R(S-1)	X(mm) ضخامت

• با فیلتر زیرکونیوم:

1. فیلتر زیرکونیوم را در مقابل کلیماتور قرار دهید (این فیلتر باعث حذف طول موجهای کوتاهی که در تابش ترمزی ایجاد شده است میگردد). در این دستگاه تولید اشعه ایکس توسط تابش ترمزی صورت میگیرد. ($I=1$ mA)

2. مرحله 3 آزمایش قبل را تکرار کنید.

R(S-1)	X(mm) ضخامت

با استفاده از نتایج جداول بالا و فرمولهای ارائه شده، T را بیابید و نمودار آن را بر حسب ضخامت رسم کنید.

نمودار $\ln T$ را بر حسب $D(mm)$ ، ضخامت رسم کنید

ضریب میرایی خطی را برای ماده جاذب بدست آورید.

(ب) میرایی به عنوان تابعی از جنس جاذب :

• بدون فیلتر زیرکونیوم

1. ماده جاذب دوم را به جای ماده جاذب اول قرار دهید

2. فیلتر زیرکونیوم را بردارید

3. تنظیمات زیر را انجام دهید:

$U=30$ KV (برای اطمینان از نفوذ اشعه به جاذب کلفت تر)

$I=1$ mA

4. مرحله 3 آزمایش الف را تکرار کنید.

جاذب	Z عدد اتمی	I(mA)	X(mm)	R(s-1)
بدون جاذب				
C				
Al				
Fe				
Zr				

• با فیلتر زیرکونیوم:

5. فیلتر را قرار داده و همان اندازه گیریهای بالا را تکرار کنید.

جاذب	Z عدد اتمی	I(mA)	X(mm)	R(s-1)
بدون جاذب				
Pb				
Al				
Fe				

ارتباط عدد اتمی با میرا کنندگی را چگونه ارزیابی میکنید؟

نتیجه این آزمایش را با نمونه سری بررسی کنید.



اثر غیر عادی هال در تنگستن

اهداف آزمایش:

- ✓ بررسی نسبت ولتاژ هال با چگالی شار مغناطیسی
- ✓ اندازه‌گیری قطبش حامل‌های بار
- ✓ اندازه‌گیری ثابت هال R_H و تعیین غلظت حامل‌های بار n

تئوری آزمایش:

اگر یک ورقه نازک فلزی که جریانی از آن می‌گذرد، عمود بر یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، یک میدان الکتریکی E_H و یک اختلاف پتانسیل U_H در عرض فلز به وجود می‌آید (اثر هال). رابطه زیر برای ولتاژ هال بدست می‌آید. این رابطه را بدست آورید. (شکل 1):

$$U_H = \frac{1}{ne} \frac{BI}{d}$$

B : چگالی شار مغناطیسی

I : جریان عبوری از ورقه فلزی (تنگستن)

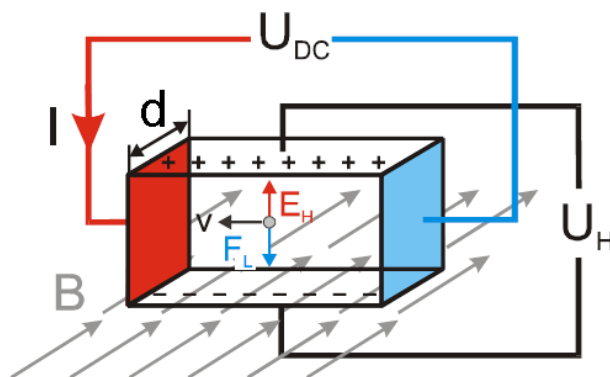
$d = 5 \times 10^{-5} \text{ m}$: ضخامت ورقه فلزی

n : غلظت حامل‌های بار

$$e = 1.602 \times 10^{-19}$$

$$R_H = \frac{1}{n.e} \text{ : ثابت هال}$$

نیروی لورنتس باعث انحراف حامل‌های بار در میدان مغناطیسی می‌گردد (جهت انحراف حامل‌ها را می‌توان با قانون دست راست تعیین کرد) و موجب ایجاد ولتاژ عرضی هال U_H می‌شود.



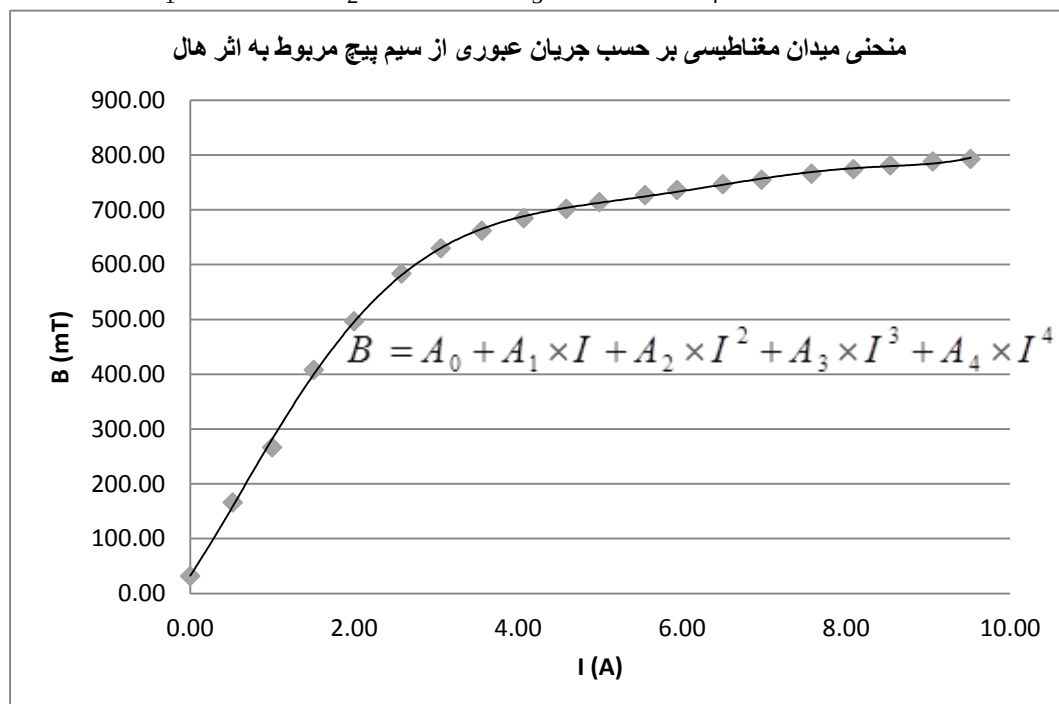
شکل 1: درون یک رسانای حامل جریان I که در یک میدان مغناطیسی B قرار گرفته است نیروی لورنتس F_L سبب ایجاد یک میدان الکتریکی عرضی E_H می‌گردد؛ اختلاف ولتاژ به وجود آمده در عرض صفحه فلزی به ولتاژ هال موسوم است.

علامت ثابت هال R_H با نوع حامل‌های بار تعیین می‌شود. وقتی حامل‌های بار مثبت باشند این پدیده اثر غیر عادی هال گفته می‌شود. همچنین ثابت هال به جنس ماده و دما نیز بستگی دارد. R_H برای فلزات بسیار کوچک است ولی در مورد نیمه هادی‌ها عدد بزرگی است.

قطبش یا نوع حامل‌های بار با راستای ولتاژ هال تعیین می‌گردد.

غلظت حامل‌های بار n با اندازه گیری ولتاژ هال به صورت تابعی از میدان مغناطیسی B برای جریان‌های مختلف I قابل اندازه‌گیری است که در نمودار زیر نحوه ی وابستگی مشخص می باشد.

$$A_0 = -36.5343, A_1 = 401.53898, A_2 = -81.64872, A_3 = 7.62523, A_4 = -0.26439.$$

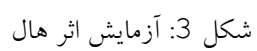




I(A)	B(mT)
0.52	166
1	267
1.51	408
2	497
2.58	584
3.06	630
3.56	662
4.07	685
4.59	702
4.99	714
5.55	727
5.94	736
6.5	747
6.97	755
7.58	766
8.09	774
8.54	781
9.06	788
9.52	793

اندازه‌گیری ولتاژ هال به عنوان تابعی از میدان مغناطیسی

- پس از رسم منحنی میدان مغناطیسی به عنوان تابعی از جریان گذرنده از سیم‌پیچ‌ها، دستگاه اثر هال را در محل تعبیه شده بر روی هسته یو شکل (شکل 3) قرار دهید.
- قطب‌های دایروی ایجاد کننده میدان مغناطیسی یکنواخت را به گونه‌ای قرار دهید که کمترین فاصله بین قطب‌ها ایجاد شود (همانطور که برای رسم منحنی میدان مغناطیسی انجام دادید).
- برای اندازه‌گیری ولتاژ هال U_H ، میکروولتمتر را به محل‌های تعیین شده بر روی صفحه اثر هال وصل کنید.
- صفحه اثر هال را به منبع جریان بالا ($I < 20 A$) وصل کنید و با سری کردن یک آمپرتر جریان را کنترل کنید.
- پیش از برقرار کردن میدان مغناطیسی، جریان گذرنده از صفحه تنگستن را تنظیم کنید؛ به عنوان مثال جریان عبوری از تنگستن را روی $15 A$ تنظیم کنید و پس از آن با استفاده از پیچ *comp* صفر ولتمتر را تنظیم کنید.
- جریان $15 A$ را در ورقه تنگستن جاری کنید و با تغییر میدان مغناطیسی ولتاژ هال را بدست آورید.
- جدول 2 را کامل کنید.
- نسبت ولتاژ هال با میدان مغناطیسی چگونه است؟
- آزمایش را با جریان $20 A$ تکرار کنید.
- حامل‌های بار الکترون‌ها هستند یا حفره‌ها؟
- ثابت هال را برای جریان‌های $15 A$ و $20 A$ به طور جداگانه محاسبه کنید.
- مقدار غلظت حامل‌های بار در هر مورد را بیابید.

[illegible]



آزمایش ترموالکتریک

اهداف آزمایش:

- ✓ مطالعه ی ترموالکتریک (اثر سبیک^۱ و اثر پلتیر^۲)
- ✓ مدرج کردن ترموکوپل ها، مگنت ترموالکتریک، ترموکوپل با عقربه ی مغناطیسی

وسایل آزمایش:

ترموکوپل های مسی-کنستانتان، آهن-کنستانتان، کرم نیکل-کنستانتان، ترموکوپل با عقربه ی مغناطیسی، مگنت ترموالکتریک، دماسنج 2 عدد، چراغ بنزن، جک آزمایشگاهی، سه پایه، توری نسوز، بشر، پایه ی V شکل بزرگ 3 عدد، گیره ی حلقه دار 2 عدد، گیره ی چندمنظوره 4 عدد، سیم های رابط.

ملاحظات نظری:

آثار ترموالکتریک شامل اثر سبیک، اثر پلتیر و اثر تامسون، اثر گالوانو مغناطیسی، اثر اتینگزهاوزن^۳ و اثر نرنست^۴ می باشد. برخی از این آثار کاربردهای وسیعی پیدا کرده اند، لذا مطالعه ی آن ها نه تنها آموزنده است بلکه از نظر کاربردی جالب توجه می باشد.

اثر سبیک^۵: در سال 1822 میلادی سبیک دریافت که در مدار ی که شامل دو قطعه ی رسانای 1 و 2 از دو ماده ی مختلف که در دو انتهای A و B به یکدیگر متصل و این دو انتها در دو دمای متفاوت T_1 و T_2 قرار گرفته اند. نیروی محرکه ی (V_T) ایجاد می گردد. به شکل 1 نگاه کنید.

¹ Seebeck

² Peltier

³ Ettinghausen

⁴ Nernst

⁵ Seebeck effect



شکل (1)

این نیروی محرکه ی (V_T)، نیروی محرکه ی گرمایی نامیده می شود. آزمایش ها نشان می دهد که در فواصل محدود دمائی، V_T با اختلاف دمای بین A و B متناسب است.

$$V_T = \alpha(T_1 - T_2)$$

ضریب تناسب $\alpha = \frac{dV_T}{dt}$ ، شیب و یا ضریب ویژه ی توان ترموالکتریکی نامیده می شود که به جنس رساناها و دما بستگی دارد.

برای نیروی محرکه ی گرمایی سه منشاء وجود دارد. جریان جهت دار حامل های بار رسانا در اثر وجود شیب (گرادیان) دما (مؤلفه ی حجمی V_V)، تغییر مکان تراز فرمی (مؤلفه ی اتصال V_J) و کشش الکترون ها توسط فونون ها (اثر کششی فونونی).

الف) مؤلفه ی حجمی نیروی محرکه ی گرمایی V_V :

فرض است که اختلاف دمای ($T_1 - T_2$) به دو سر یک رسانای یکنواخت AB اعمال شده است، لذا یک گرادیان دمای $\frac{dT}{dx}$ در امتداد A به B وجود دارد. حاملان شدت جریان در انتهای گرم آن دارای انرژی جنبشی و لذا سرعت حرکتی بیشتری نسبت به حاملان انتهای سرد آن خواهند داشت. در نتیجه در داخل رسانا جریانی از این حاملان بار از انتهای گرم بطرف انتهای سرد آن جاری می گردد. در حالتی که حاملان جریان الکترون ها باشند، انتهای سرد، تجمعی از بارهای منفی؛ و انتهای گرم، بار مثبت خواهد یافت و اختلاف پتانسیل V_V بین این دو انتها بوجود می آید که همان مؤلفه ی حجمی نیروی محرکه ی گرمایی است. توان ترموالکتریک جزئی مربوطه به این مؤلفه:

$$\alpha_V = \frac{\partial V_V}{\partial T}$$

می شود که ممکن است بصورت زیر برآورد گردد. فشار گاز الکترونی در رسانا برابر است با:

$$P = \frac{2}{3} n \bar{E}$$

که $\bar{E}$ میانگین انرژی الکترون های رسانا و n تجمع آن هاست.



گرادیان دما منجر به یک گرادیان فشار می شود که با میدان الکتریکی حاصله $\mathcal{E}$ در تقابل قرار می گیرد؛ بطوریکه:

$$e\epsilon n = \frac{\partial \rho}{\partial \chi} = \frac{\partial \rho}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial \chi}$$

از آن α_v بسادگی حاصل می شود:

$$\alpha_v = \frac{\partial V_v}{\partial T} = \frac{\epsilon \partial \chi}{\partial T} = \epsilon \left(\frac{\partial T}{\partial \chi} \right)^{-1} = \frac{1}{ne} \frac{\partial \rho}{\partial T}$$

قاعدتاً در رسانای نوع- n ، جهت α_v از انتهای گرم به طرف انتهای سرد آن است. اگرچه استثنائاتی وجود دارد که ذیلاً تشریح خواهد شد.

ب) مؤلفه ی اتصال ی نیروی محرکه ی گرمایی V_j :

تغییر دما منجر به تغییر در مکان تراز فرمی^۷ می گردد. در رساناهای نوع- n در نمودار انرژی، با بالا رفتن دما تراز فرمی نزول می کند و در این رسانا بایستی در انتهای سرد بالاتر از انتهای گرم آن باشد.

اختلاف مکان تراز فرمی برابر است با اختلاف پتانسیل:

$$dV_j - \frac{1}{e} \frac{\partial \mu}{\partial T}$$

و این همان مؤلفه ی اتصال ی نیروی محرکه ی گرمایی است. توان ترموالکتریک جزئی مربوط به این مؤلفه:

$$\alpha_j = -\frac{1}{e} \frac{\partial \mu}{\partial T}$$

و توان ترموالکتریک جزئی منتهی عبارت است از:

$$\alpha = \frac{1}{ne} \frac{\partial p}{\partial T} - \frac{1}{e} \frac{\partial \mu}{\partial T}$$

رابطه ی اخیر در خصوص انواع مختلف رساناها قابل کاربرد است.

توان ترموالکتریکی فلزات:

با قرار دادن انرژی میانگین الکترون های گاز الکترونی ایجاد شده از رابطه ی:

$$\bar{E} = \frac{3}{5} E_f \left[1 + \frac{5\pi^2}{12} \left(\frac{k_B T}{E_f} \right)^2 \right]$$



که از وابستگی توزیع فرمی-دیراک به دما حاصل شده است، در رابطه ی اخیر می توان رابطه ی زیر را برای فشار الکترونی فلز بدست آورد.

$$P = \frac{2}{3}n\bar{E} = \frac{2}{5}nE_f + \frac{\pi^2}{6E_f}(k_B T)^2$$

با مشتق گیری از این رابطه نسبت به T و ضرب کردن آن در $\frac{1}{ne}$ داریم:

$$\alpha_V = \frac{k_B \pi^2 k_B T}{e 3 E_f}$$

وابستگی تراز فرمی با دما در مورد فلزات از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$\mu = E_f \left[1 - \frac{\pi^2}{12} \left(\frac{k_B T}{E_f} \right)^2 \right]$$

با مشتق گیری از آن نسبت به T و تقسیم کردن آن به e داریم:

$$\alpha_j = + \frac{\pi^2 k_B k_B T}{6e E_f}$$

و لذا:

$$\alpha_m = \alpha_V + \alpha_j = \frac{\pi^2 k_B}{3e} \left(1 + \frac{1}{2} \right) \frac{k_B T}{E_f}$$

این رابطه متناسب بودن α با T را در مورد فلزات نشان می دهد که با آزمایش توافق کاملی دارد.

روش آزمایش:

آزمایش 1: بشر را پر از آب کنید و آنرا روی توری و سه پایه قرار داده و چراغ بنزن را زیر آن ها قرار دهید. دما سنج را تو سط نخ محکمی طوری آویزان کنید که درون آب و تقریباً در و سط بشر قرار گیرد. یکی از ترموکوپل ها (مثلاً آهن-کنسنتانتان) را بردارید و دو سر آن را به میکروولتومتر متصل نمایید.

مقداری یخ به آب بشر اضافه نموده و صبر کنید تا دما به صفر درجه ی سلسیوس برسد، در این لحظه میکروولتومتر را صفر کنید و جدولی مطابق جدول زیر تهیه تا نتایج را در آن ثبت نمایید.

	$T(^{\circ}\text{C})$	$V(mv)$
--	-----------------------	---------



1		
2		
3		
4		
5		

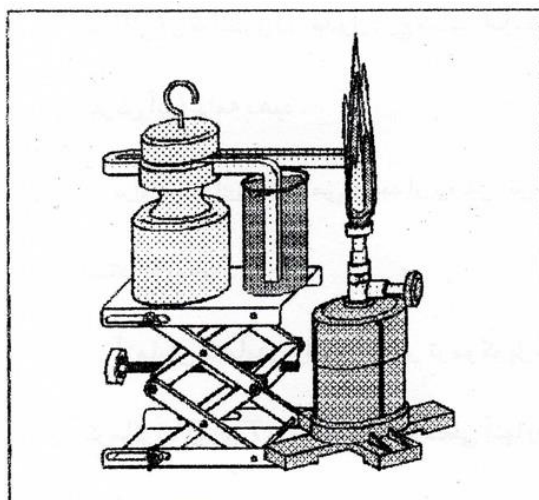
یخ های اضافی را از بشر خارج نموده و چراغ بنزن را روشن کنید تا آب گرم شود و سعی کنید شعله کم باشد تا بتوانید دما را کنترل کنید. آب بشر را هم بزنید تا یکنواخت بماند. چراغ بنزن را از زیر بشر دور کنید و پس از ثابت شدن دما، میزان دما و ولتاژ (نیروی محرکه ی گرمایی) را قرائت و در جدول درج نمایید. این کار را تا بالاترین دمای قابل دسترس (نزدیکی نقطه ی جوش آب) ادامه دهید.

برای دماهای بالاتر می توانید از روغن اتومبیل و اگر امکان داشته باشد از روغن سیلیکون استفاده نمایید.

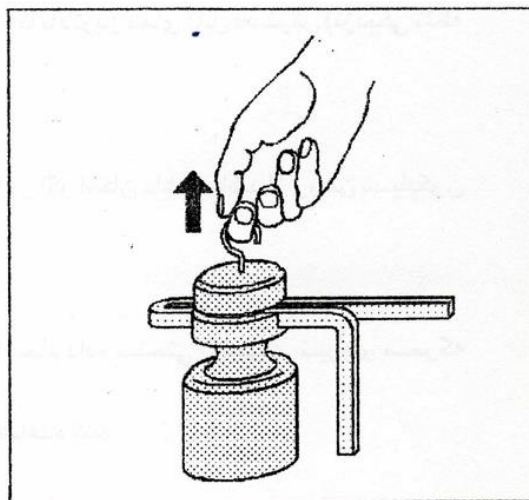
آزمایش مشابهی را برای سایر ترموکوپل ها انجام داده منحنی تغییرات نیروی محرکه ی گرمایی با دمای T را رسم و رابطه ی خطی آن ها را مشاهده کنید.

آزمایش 2: وزنه ی مگنت ترموالکتریک را روی جک آزمایشگاهی قرار دهید. ترموکوپل مس-کدستانتان مخصوص آن را درون شیارهای مگنت قرار داده و قرص حلقه دار (قطب دوم آهنربا) را روی آن بگذارید و قطب مزبور را روی قطب اول ضمن اینکه می فشارید، بصورت دورانی حرکت دهید تا فاصله ی هوایی بین دو قطب تا حد ممکن کاهش یابد.

جک آزمایشگاهی را بالا ببرید بطوریکه ارتفاع آن بحدی برسد که شعله ی چراغ بنزن بتواند انتهای افقی ترموکوپل را در بر گیرد و بشر را مملو از آب سرد کرده و روی جک مطابق شکل (2) طوری قرار دهید که قسمت اعظم انتهای قائم ترموکوپل داخل آب قرار گیرد.



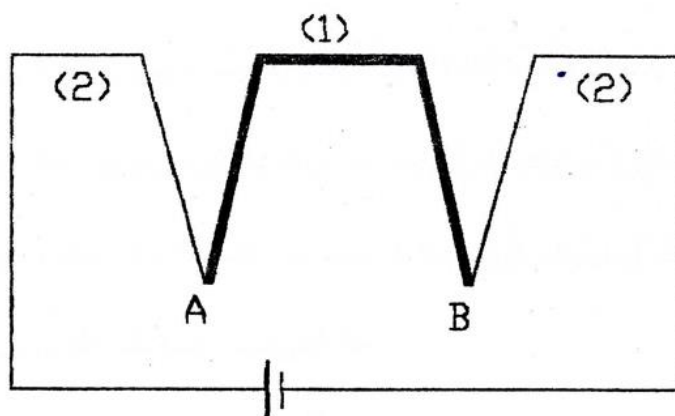
(شکل 2)



(شکل 3)

چراغ بنرن را روشن کنید و شعله ی آن را به انتهای افقی ترموکوپل بگیرید، صبر کنید تا گرمای آن بخوبی به ترموکوپل منتقل شود. پس از حدود 10 دقیقه حلقه ی قطب فوقانی را به آهستگی بالا بکشید. ملاحظه خواهید کرد که دو قسمت مگنت و به یکدیگر چسبیده اند و در اثر عبور جریان شدید (حدود 100 آمپر) از میله ی مسی (حلقه ی جریانی ترموکوپل) بخش میانی وزنه، آهنربا شده و قرص آهنی را جذب نموده و نگه می دارد. اگرچه ولتاژ ایجاد شده در ترموکوپل اندک است (حدود 15 mv) لیکن بعلت ناچیز بودن مقاومت ترموکوپل شدت جریان زیاد در آن ایجاد می گردد.

اثر پلتیر: فرض کنید شدت جریان I از مداری متشکل از دو رسانای ناهمسان (1) و (2) مطابق شکل (4) می گذرد.



(شکل 4)

گرمای ژول ایجاد شده در محل های اتصال A و B از رابطه ی $Q = RI^2t$ که در آن R مقاومت محل اتصال و t زمان عبور جریان است، بدست می آید. این گرمایی است که فقط در محل اتصال رساناهای مورد نظر تولید می شود و گرینه تفاوتی بین اتصال و سایر قسمت های رسانا وجود ندارد. در عین حال در نقاط اتصال مواد مختلف علاوه بر گرمای ژول، گرمای دیگری ایجاد و یا جذب می گردد، که به ترتیب موجب گرم شدن و یا سرد شدن نقطه ی اتصال

می شود. این پدیده برای اولین بار در سال 1834 میلادی توسط J.C.A.Peltier کشف گردید و به اثر پلتیر معروف است. گرمای اضافی آزاد و یا جذب شده در محل اتصال، گرمای پلتیر Q_P نامیده می شود.

آزمایش ها نشان می دهد که Q_P متناسب با شدت جریان و مدت زمان عبور آن است.

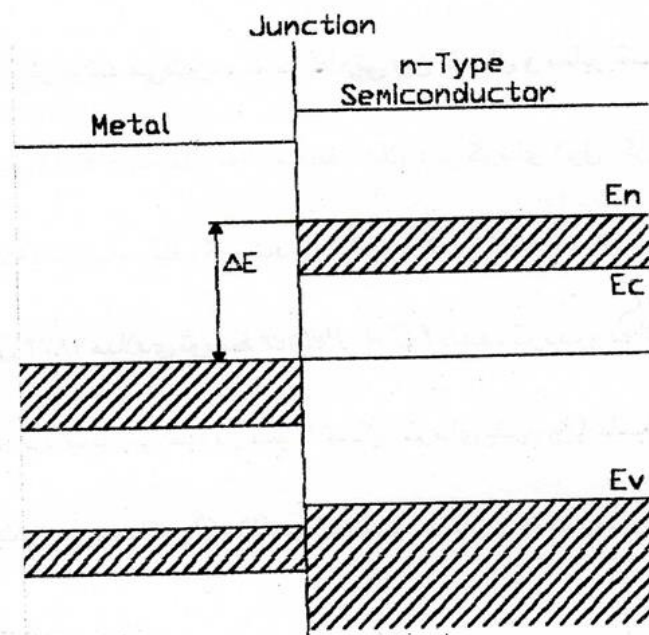
$$Q_P = \Pi It$$

و ضریب تناسب Π ، ضریب پلتیر نامیده می شود که مقدار آن بستگی به جنس مواد و دما دارد.

رابطه ی مستقیمی بین آثار پلتیر و سیبک وجود دارد: اختلاف دما در مداری که شامل مواد متفاوت باشد ایجاد شدت جریان می کند و عبور شدت جریان از چنین مداری اختلاف دا بوجود می آورد. عامل ارتباطی این امر انرژی است. تامسون (لرد کلونین)، که مؤلف نظریه ترمودینامیک اثر ترموالکتریک است، نشان داد که:

$$\alpha = \frac{\Pi}{t} \quad (1)$$

اثر پلتیر به اختلاف انرژی متوسط الکترون های رسانشی مواد همسان مربوط می شود. به عنوان مثال، اتصال یک فلز با یک نیمه هادی نوع- n را مطابق شکل (5) در نظر بگیرید.



(شکل 5): در این آرایه، باند انرژی اتصال فلز-نیمه رسانا، مکانیسم اثر پلتیر را نشان می دهد.

پس از رسیدن به حالت تعادل، تراز فرمی آن ها یکسان می شود. فقط الکترون های نزدیک تراز فرمی که میانگین انرژی آن ها عملاً مساوی انرژی فرمی است در هدایت فلز مشارکت می کنند. میانگین انرژی الکترون ها در نیمه رسانا را با $\bar{E}_n$ نشان می دهیم. این انرژی با انرژی گرمایی الکترون ها $(\frac{3}{2}K_B T)$ برابر نیست، زیرا در جریان الکتریکی، حرکت



الکترون های سریع نقش عمده تری نسبت به الکترون های کند دارد. محاسبه در مورد گاز الکترونی نشان می دهد که:

$$\bar{E}_n = (r + 2)K_B T$$

که r توان رابطه ی $\lambda \propto E^r$ است که در آن λ مسیر آزاد متوسط الکترون ها با انرژی E می باشد. تصور کنید که شدت جریان الکتریکی جاری در محل اتصال طوری است که الکترون ها از نیمه رسانا به فلز می روند.

از شکل فوق می توان دید که هر الکترونی که از نیمه رسانا به فلز می رود یک انرژی اضافی به اندازه ی:

$$\Delta E = \bar{E}_n + (-\mu_n)$$

با خود حمل می نماید. این انرژی گرمای پلتیر است و در نزدیکی محل اتصال آزاد می گردد. وقتی که جهت شدت جریان عوض می شود، الکترون هایی که از فلز به نیمه رسانا می روند، گرما را جذب نموده و محل اتصال را سرد می کنند. با تقسیم کردن ΔE به بار الکتریکی الکترون $(-e)$. ضریب پلتیر حاصل می شود:

$$\Pi_{mn} = -\frac{\Delta E}{e} = -\frac{1}{e}(\bar{E}_n - \mu_n)$$

با قرار دادن مقدار μ از رابطه:

$$\mu = K_B T \ln \left[\frac{N}{V} \left(\frac{h^2}{2\pi m K_B T} \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

و نیز مقدار $\bar{E}_n$ در رابطه ی فوق داریم:

$$\Pi_{mn} = -\frac{K_B T}{e} \left[(r + 2) + \ln \frac{2(2\pi m_n K_B T)^{\frac{3}{2}}}{nh^3} \right]$$

رابطه ی مشابهی نیز برای محل اتصال در خصوص فلز و نیمه رسانای نوع p - بدست می آید:

$$\Pi_{mp} = -\frac{K_B T}{e} \left[(r + 2) + \ln \frac{2(2\pi m_n K_B T)^{\frac{3}{2}}}{ph^3} \right]$$

در مورد اتصال دو فلز، ضریب پلتیر با استفاده از رابطه ی (1) داریم:

$$\Pi_{1,2} = (\alpha_1 - \alpha_2)T$$



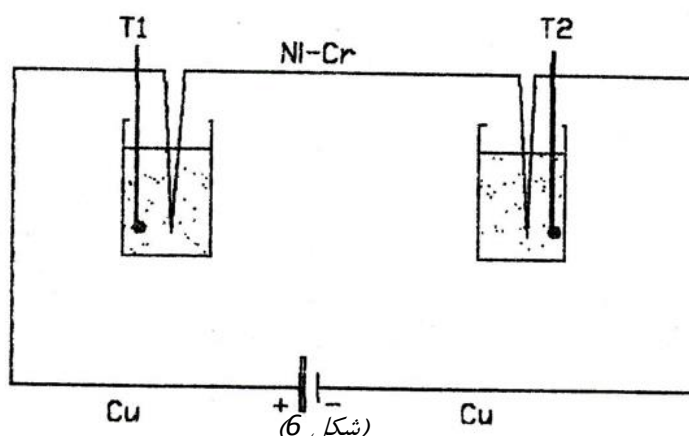
که با جایگذاری در آن خواهیم داشت:

$$\Pi_{1,2} = \frac{(\pi K_B T)^2}{3e} (1 + r) \left(\frac{1}{E_{f1}} - \frac{1}{E_{f2}} \right)$$

آزمایش 3: دو دستگاه کالریمتر یکسان انتخاب و درون هر دو به میزان مساوی آب با دمای یکسان بریزید و دمای آن ها را یادداشت نمایید.

یک قطعه سیم کرم-نیکل، به طول تقریبی 0/5 متر انتخاب و دو قطعه مساوی سیم مسی به دو انتهای آن متصل نمائید و دو اتصال مربوطه را به طور مشابه در آب کالریمترها وارد کنید (بطوریکه مقدار مساوی از هر دو انتها درون آب کالریمتر قرار گیرد). دو انتهای دیگر سیم های مسی را به منبع تغذیه متصل و شدت جریان مناسبی (در حدود 3 آمپر) از مدار عبور دهید.

آب کالریمترها را به آهستگی به هم بزنید و پس از مدتی دماهای آن ها را یادداشت و با مقدار اولیه مقایسه کنید تا اثر پلتیر را دریابید.



کالریمترها و منبع تغذیه را بردارید و به جای منبع تغذیه میکروآمپر متر (و یا گالوانومتر) قرار داده و یکی از دو اتصال را با شعله گرم کنید و جهت جریان را تعیین نموده و آثار سبک و پلتیر را با یکدیگر مقایسه کنید.

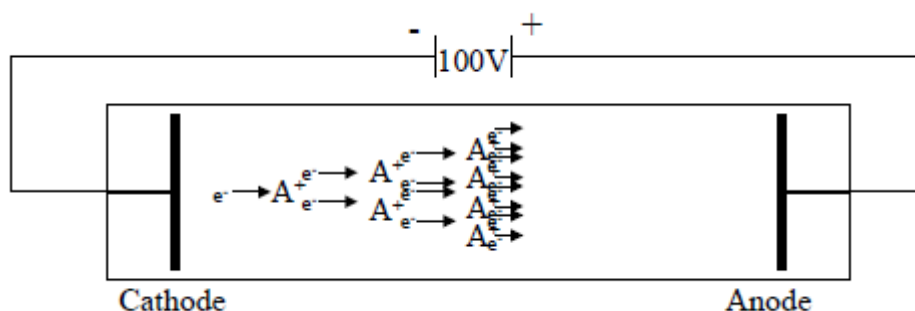


تخلیه الکتریکی روشن یا GLOW DISCHARGE

✓ هدف: مشاهده تشکیل پلاسما و تعیین رابطه بین ولتاژ شکست و فشار گاز در تخلیه الکتریکی.

به یونیزه شدن گاز در فشار پائین و تبدیل آن به پلاسمایی که دارای تشعشعاتی در ناحیه مرئی است، glow discharge یا تخلیه الکتریکی روشن می گویند.

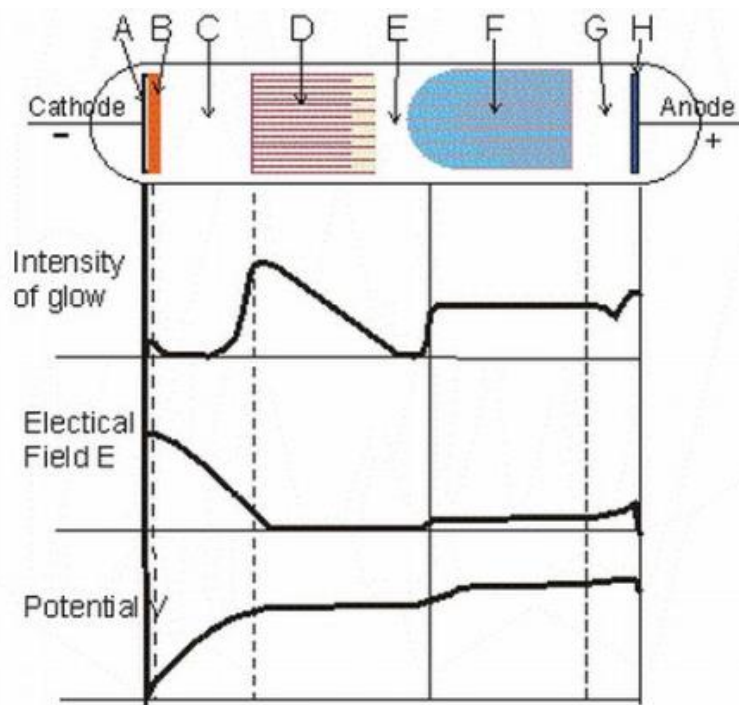
هنگامی که به دوسر یک لوله کروکس (لوله کروکس لوله ای است حاوی گاز در فشار پایین) میدان الکتریکی اعمال گردد در اثر اختلاف پتانسیل ایجاد شده در گاز کسر کوچکی از اتم های گاز یونیزه می شوند و الکترون های آزاد شده به اتم های خنثی برخورد کرده و باعث یونیزه شدن آنها می شوند و این فرایند بصورت آبشاری یا **avalanche** ادامه پیدا کرده و پلاسما ایجاد می گردد (شکل 1). الکترون های آزاد شده با اتم های خنثی برخورد کرده و آنها را برانگیخته می کنند و باعث تابش می شوند.



شکل 1: یونیزاسیون آبشاری در گاز به دلیل اعمال ولتاژ بالا.

ساده ترین وسیله تخلیه الکتریکی گاز شامل دو الکترود در محفظه ای گازی در فشار 0.1 تا 10 تور یا 1/1000 تا 1/100 اتمسفر است. این گاز می تواند نئون یا گازهای دیگر مثل هوا باشد. گازدرون محفظه بوسیله الکترون های آزاد یا اشعه گاما یونیزه می شود و در این حالت یون های مثبت به سمت

کاتد و الکترون‌ها به سمت آند می‌روند. تا وقتی پتانسیل ثابت نگهداشته شود تعداد الکترون‌ها و یون‌ها ثابت باقی می‌ماند.



شکل 2: تصویری از نواحی تشکیل شده در فاصله کاتد و آند پس از اعمال ولتاژ بالا.

در فاصله بین کاتد و آند الکترون، یون و ذرات خنثی وجود دارد. در حالت کلی، تخلیه الکتریکی گاز به شکل 2 دیده می‌شود. نواحی تاریک و روشن درون لوله به ترتیب عبارتند از:

ناحیه A: یا فضای تاریک استون (Aston dark space): یک ناحیه نازک نزدیک به کاتد است که دارای میدان الکتریکی قوی است. در این ناحیه الکترون‌ها شتاب گرفته و به طرف آند حرکت می‌کنند از آنجایی که تعداد الکترون‌ها در این ناحیه نسبت به یون‌ها بیشتر است، این ناحیه در کل دارای بار منفی است. در این ناحیه، انرژی الکترون‌ها به اندازه برانگیخته کردن اتم‌ها نیست این ناحیه تاریک دیده می‌شود.

ناحیه B: تابش کاتدی (cathode glow): این ناحیه نزدیک ناحیه تاریک استون است انرژی الکترون‌ها در این ناحیه به اندازه‌ای است که می‌تواند با برخورد با اتم‌های خنثی آنها را برانگیخته کند بنابراین این ناحیه روشن دیده می‌شود در این ناحیه تعداد یونها بیشتر است و در بیشتر مواقع



ناحیه تاریک استونی توسط این ناحیه پوشیده می شود ضخامت این لایه به نوع گاز، دما و فشار بستگی دارد.

ناحیه C فضای تاریک کاتدی (cathode dark space): این ناحیه نسبتاً تاریک است و طول آن به فشار و ولتاژ اعمالی بستگی دارد در این ناحیه تعداد یون‌ها بیشتر است و تقریباً مثبت است در این ناحیه الکترون‌ها درون میدان الکتریکی شتاب می‌گیرند و یون‌ها به سمت کاتد کشیده می‌شوند این کار باعث یونیزه شدن یا پودر شدن کاتد و در نتیجه ایجاد الکترون‌های ثانویه می‌شود که خود عامل یونیزه کردن اتم‌های خنثی دیگر در محفظه شیشه ای می‌شود.

ناحیه D (negative glow): این ناحیه درخشان‌ترین ناحیه تخلیه الکتریکی است. الکترون‌ها که در ناحیه کاتدی شتاب گرفته‌اند باعث یونیزاسیون اتم‌های بیشتری می‌شوند لذا سرعت آن‌ها کمتر می‌شود ولی آنها با برخورد غیر الاستیک می‌توانند اتم‌های خنثی را برانگیخته کنند. در این ناحیه هم یونیزاسیون و هم برانگیختگی وجود دارد و چگالی الکترون و یون بالاست این ناحیه، ناحیه خوبی برای تحلیل داده هاست. در انتهای این ناحیه انرژی الکترون‌ها کم می‌شود و عامل ایجاد ناحیه تاریک دیگر است.

ناحیه E (dark space): این ناحیه بین تابش منفی و ستون مثبت است و از آنجایی که الکترون‌ها دیگر انرژی ندارند این ناحیه تاریک است و میدان الکتریکی کوچک است.

ناحیه F (positive column): این ناحیه درخشان میدان الکتریکی اندکی افزایش می‌یابد و یونیزاسیون انجام می‌شود و NG را به آند وصل می‌کند.

ناحیه G (Anodic glow): این یک ناحیه روشن است که گاهی اوقات در کنار ستون مثبت دیده نمی‌شود.

ناحیه h (Anode dark space): ناحیه تاریک نزدیک آند است یک بیم الکترون به سمت آند دارد و میدان الکتریکی آن زیاد است.

بطور خلاصه علت تشکیل نوارهای تاریک و روشن در طول لوله کروکس بشرح زیر است:



بعد از تشکیل پلاسما در محیط، بارهای مثبت به سمت کاتد کشیده می‌شوند و یک جدایش بار بین بارها ایجاد می‌شود این جدایش بار باعث ایجاد یک میدان الکتریکی می‌گردد و الکترون‌ها در این میدان شتاب پیدا کرده و انرژی آنها افزایش می‌یابد در این ناحیه الکترون‌های شتاب گرفته با اتم‌های خنثی برخورد کرده و باعث برانگیختگی آنها می‌شوند و حاصل این فرایند ایجاد نور مرئی است و در نتیجه این ناحیه روشن دیده می‌شود. الکترون‌ها بعد از عبور از این ناحیه انرژی خود را بدلیل برخورد با اتم‌های خنثی از دست داده‌اند بنابراین دیگر قادر به برانگیخته کردن اتم‌ها نیستند و این ناحیه تاریک خواهد بود. این فرایند مجدداً تکرار می‌شود یعنی الکترون‌ها در ناحیه تاریک شتاب گرفته و در ناحیه روشن اتمهای خنثی را برانگیخته می‌کنند.

بین ولتاژ شکست (ولتاژی که در آن گاز شروع به یونیزه شدن می‌کند)، فشار گاز، و فاصله کاتد و آند رابطه زیر برقرار است به این رابطه قانون پاشن گویند.

$$V_B = \frac{APd}{\ln(Pd) + B}$$

در این رابطه p فشار، d فاصله بین کاتد و آند، A, B ثابت‌هایی هستند که به نوع گاز بستگی دارند و نهایتاً V_B ولتاژ شکست است.

روش آزمایش:

ملزومات:

- ✓ لوله های کروکس: لوله هایی از گاز (در اینجا هوا) که در فشارهای مختلف پر شده اند،
- ✓ یک منبع تغذیه ولتاژ بالا،
- ✓ آمپر متر.

جهت انجام این آزمایش منبع تغذیه را به دو سر لوله کروکس متصل کرده و برای اندازه‌گیری جریان یک آمپر متر بصورت سری به مدار اضافه کنید. از آنجایی که این آزمایش باید در فشارهای مختلف انجام شود و در این جا امکان تغییر فشار درون یک لوله را نداریم باید آزمایش برای لوله‌های کروکس در فشارهای مختلف جداگانه اندازه‌گیری شود.



ابتدا منبع تغذیه را به لوله کروکس با فشار 25mhg وصل کرده سپس آن را در حالت ولتاژ بالا قرار دهید و شروع به افزایش ولتاژ کنید. دقیقاً در ولتاژی که روشنایی در لوله دیده شد آن ولتاژ و جریان را اندازه گیری و یادداشت نمایید. سپس ولتاژ را صفر کرده و منبع تغذیه را خاموش نمایید و منبع را به لوله کروکس با فشار 5mhg وصل کنید. و به همان روش قبل آزمایش را انجام دهید. این کار را برای فشارهای 2, 0.03, 0.01mhg نیز انجام دهید و نتایج را در جدولی ثبت نماییم. با استفاده از این جدول داده‌ها نمودارهای ولتاژ بر حسب فشار و جریان بر حسب فشار را رسم کنید.

V(kv)					
P(mhg)					

در قسمت دوم آزمایش، در یک فشار ثابت مقدار مقاومت لوله کروکس را بر حسب جریان رسم کنید و تغییر مقاومت پلاسما را بر حسب جریان بدست آورید. مشاهدات خود را در این آزمایش به طور کامل شرح دهید.

سوالها:

- 1- چرا در لوله‌های پر شده در فشارهای بالا تخلیه الکتریکی دیده نمی‌شود؟
- 2- در آزمایش بعد از روشن شدن لوله افت شدید ولتاژ مشاهده می‌شود، دلیل این افت ولتاژ چیست؟